

3/2013

Veranstaltungen

Geomorphologische Prozesse unserer Flussgebiete

15. Gewässermorphologisches Kolloquium
am 13./14. November 2012 in Koblenz

Koblenz, April 2013



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: +49 (0)261 1306-0
Fax: +49 (0)261 1306 5302
E-Mail: posteingang@bafg.de
Internet: <http://www.bafg.de>

Druck: Druckerei Fuck, Koblenz

ISSN 1866 – 220X

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2013.3

URL: http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst3_2013.pdf

Zitiervorschlag:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Geomorphologische Prozesse unserer Flussgebiete. 15. Gewässermorphologisches Kolloquium am 13./14. November 2012 in Koblenz. – Veranstaltungen 3/2013, Koblenz, April 2013, 108 S.;

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2013.3

URL: http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst3_2013.pdf

Inhaltsverzeichnis

Geomorphologische Prozesse unserer Flussgebiete	4
Flussmorphologische Entwicklungen am Rhein, im Besonderen am Niederrhein Dietmar Abel.....	5
Von der Quelle bis zur Mündung: Eine Sedimentbilanz des Rheins Nicole Gehres, Birgit Brandstetter, Gudrun Hillebrand und Roy Frings	13
Bergsenkungen im Ruhrgebiet – Ausmaß und Folgen Stefan Harnischmacher	22
Die räumliche und zeitliche Variabilität von fluvialem Sedimenttransport in Hochgebirgseinzugsgebieten David Morche.....	30
Geschiebewartung an der Donau; Zugabe von Tracer-Material und Monitoring Jürgen Schillinger und Jürgen Kellermann	38
Abschätzung der Dichtwirkung von Auesedimenten an der Donau, Abschnitt Straubing-Vilshofen Elmar Fuchs, Philipp Jaesche und Kai Uwe Totsche.....	46
Flussmorphologische Entwicklung der Grenzoder Astrid Ewe und Cornelia Lauschke.....	56
Oderabschnitt bei Reitwein – Monitoring der Gewässerentwicklung Nathalie Cron und Andreas Sundermeier.....	66
Hydromorphologische Entwicklung der Binnenelbe Stefan Vollmer, Ina Quick und Frauke König	75
Wechselspiel von Geschiebetransport und Regelungssystem an der deutschen Binnenelbe Petra Faulhaber.....	88
Partikuläre Schadstoffströme im Flussgebiet – Fallbeispiel Elbe Peter Heininger.....	101

Geomorphologische Prozesse unserer Flussgebiete

15. Gewässermorphologisches Kolloquium

Die Geomorphologie untersucht die Formen und formbildenden Prozesse der Oberfläche der Erde. Die Flussmorphologie als Teil der Geomorphologie beschreibt die Gestalt der Fließgewässer und versucht die Vorgänge, die zu deren Ausbildung führen, zu erklären und deren Ursachen zu beschreiben. Aus den naturräumlichen Grundlagen – der Physischen Geographie, der Geologie, der Bodenkunde und der Klimatologie – ergeben sich Abfluss und Feststofftransport, die die Ausformung des Flussbettes bestimmen.

Während des Kolloquiums wurden aktuelle Beiträge aus diesen Untersuchungsbereichen für die Flussgebiete Rhein, Elbe, Oder und Donau vorgestellt.

Flussmorphologische Entwicklungen am Rhein, im Besonderen am Niederrhein

Dietmar Abel

1 Einleitung

Die flussmorphologischen Entwicklungen am Rhein, im Besonderen am Niederrhein, sollen anhand von Gebietsentwicklungen, der Gewässergeometrie, wie auch des Wasserstandes mit dem zugehörigen Abfluss und des Geschiebetriebs mit dem ihm umgebenden Gewässerbett dargestellt werden. Es wird weniger auf wissenschaftliche Auswertungen als auf eine global umfassende Darstellung Wert gelegt. Bei allen Betrachtungen von morphologischen Entwicklungen ist es wichtig, den gleichen Raum und eine zeitliche Epoche zugrunde zu legen. Falsche räumliche Vergleiche, wie auch unterschiedliche zeitliche Zuordnungen, führen unweigerlich zu Fehlern. Zudem sollte das Flussgebiet in seiner Gesamtheit betrachtet und nicht nach Landes- und Bundesgewässer bzw. Bundeswasserstraßen in der Betrachtung flussmorphologischer Entwicklungen unterschieden werden.

2 Gebietsentwicklung

Bei der Gebietsentwicklung eines Flusses kann man in zeitlichen geologischen Dimensionen denken, dies führt aber nicht zu sinnvollen Betrachtungen der flussmorphologischen Entwicklungen. Zwar wurden im 18. und 19. Jahrhundert schon umfangreiche Betrachtungen hinsichtlich dieses Themas am Rhein gemacht, aber die notwendigen Daten, wie z. B. Peilungen, stehen in dem notwendigen Maße leider nicht zur Verfügung. Daher ist es wichtig, Veränderungen von Bauwerken und Flussläufen zumindest für den Zeitraum nachzuhalten, für den verlässliche Peilungen und Wasserstände mit Abflüssen vorliegen. Aber auch historische Karten ohne Zuordnung von Profil und Wasserstand sind für qualitative Betrachtungen zu verwenden.

Unerlässlich ist es, die Gebietsentwicklung lokal im Detail mit den Bauwerken, die wir seit gut 100 Jahren kennen, festzuhalten. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt des Niederrheins im Bereich der Ortslage Emmerich. In dieser Abbildung sind Bauwerke, die zu einer lokalen Gebietsentwicklung beigetragen haben, dargestellt. Hier soll nur ein Aspekt vorgestellt werden, um die Komplexität, dieser im ersten Moment einfachen Darstellung, zu erläutern. So zeigt sich die stadtnahe Hafeneinfahrt zum fiskalischen Hafen des Bundes mit der oberstromigen Anbindung der Zufahrt zum Industriehafen. An der Sohle, im Bereich dieser beiden Hafenzufahrten, sind Grundswellen aufzufinden gewesen, die an die Prallhangbuhnen angeschlossen waren. Die Grundswellen „wuchsen“ durch die Erosion im angrenzenden Mittelwasserbett in die Fahrrinne und mussten abgetragen werden. In diesem lokal begrenzten

Bereich war zu klären: Wann wurden diese Grundschwellen gebaut und wie sind die Hafenzufahrten in der Vergangenheit verändert worden? Gibt es Wechselbeziehungen zwischen den Bauwerken, die aus dem Ausbau vergangener Jahrzehnte nachvollziehbar sind und durch eine Veränderung einzelner Bauwerke bestehen bleiben müssen?

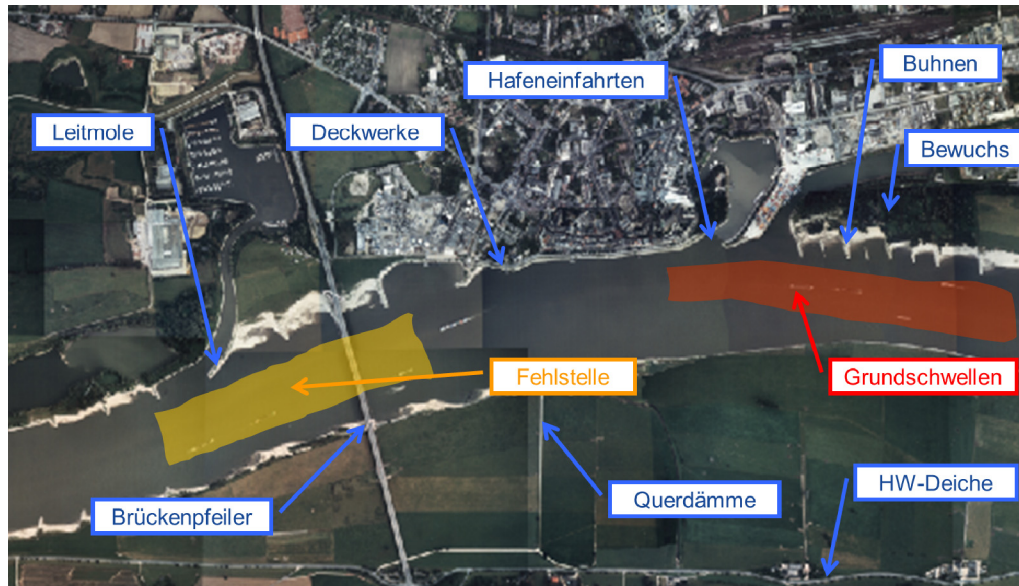


Abb. 1: Darstellung der lokalen Gebietsentwicklung im Detail im Bereich der Ortslage Emmerich am Niederrhein

An diesem kleinen Beispiel der lokalen Gebietsentwicklung ist schnell erkennbar, dass es außerordentlich wichtig ist, nicht nur die großen Veränderungen, die den Flusslauf geprägt haben, zu erfassen, sondern auch die auf den ersten Blick unscheinbaren Veränderungen.

3 Gewässergeometrie

Die flussmorphologischen Entwicklungen im Gewässerbett, eine Verlagerung des Gewässerbettes in der Breite wird ausgeschlossen, sind nur über Peilungen mit Linien- oder Flächenaufnahmen, zu erfassen. Es ist notwendig, in eindeutig definierten zeitlichen Abständen Aufnahmen der Sohle durchzuführen. Nur so können geometrische Veränderungen absolut und relativ ermittelt werden. Ergänzend ist es notwendig, nach Extremereignissen, wie z. B. Niedrig- oder Hochwasser, ebenfalls eine Sohlaufnahme durchzuführen.

Bei Linienpeilungen ist die Zuordnung zu einem festen System grundsätzlich erforderlich. Am Rhein werden die achsorthogonalen Hektometer schon seit über 100 Jahren angewandt. So kann in einem fest definierten Abstand jede Profilfolge auf der Rheinstromachse abgebildet werden. Diese Möglichkeit der Visualisierung sollte, im Zeitalter von Multibeam mit flächenhaften Aufnahmen, nicht aus den Augen verloren werden. Aus den erzeugten Profilen lassen sich eine Unmenge von Parametern bestimmen. So kann, wie in Abb. 2 dargestellt, die mittlere Tiefe bezogen auf müNN, mit bestimmten Breitenbegrenzungen im Profil, für verschiedene Epochen verglichen werden. Mit der Zuordnung eines Wasserspiegels lassen sich so absolute und relative Veränderungen im Gewässerbett darstellen.

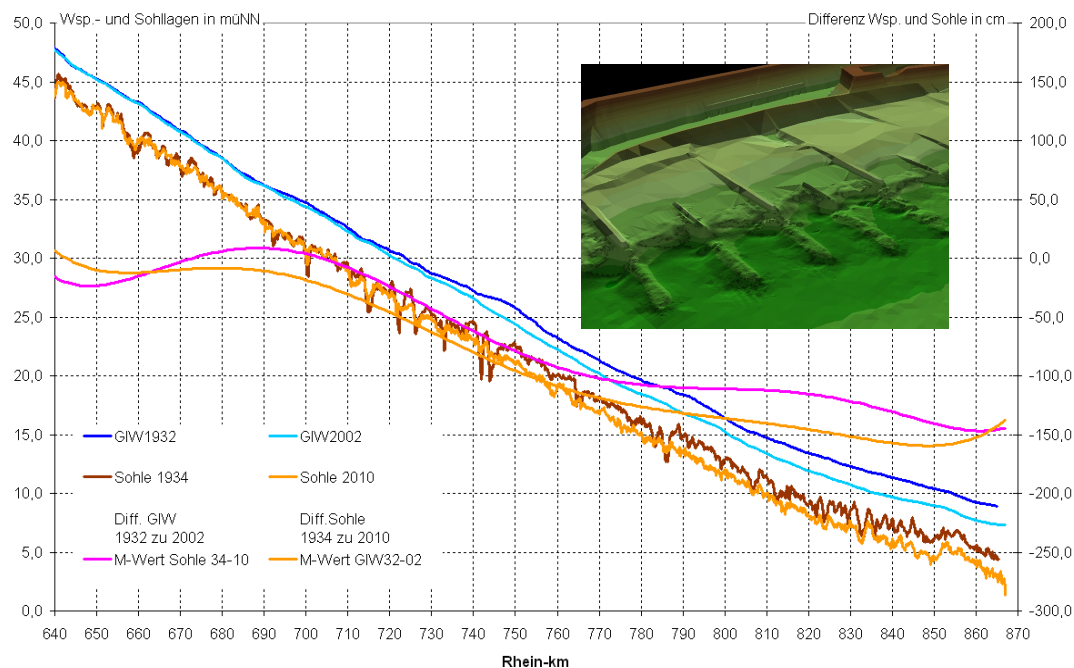


Abb. 2: Darstellung Sohlängsschnitt unter dem Gleichwertigen Wasserstand (GIW) zwischen 1934 und 2010 bzw. 1932 und 2002 am Niederrhein

Ein Hinweis auf flussmorphologische Entwicklungen ist quantifizierbar und visuell nachvollziehbar. In dieser Abbildung zeigt sich, dass im Bereich Köln, ca. Rhein-km 685, keine langfristige Erosion stattgefunden hat, das aber im Bereich der Ortslage Emmerich, ca. Rhein-km 852, eine Erosion von immerhin bis zu 1,50 m von 1934 bis 2010 zu verzeichnen war. Dies ist bei möglichen Ausbau- oder Unterhaltungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Durch die lückenlose Aufnahme von Flächendaten lassen sich Bauwerke in ihrer Gesamtheit erfassen, wie z. B. die Grundschwellen oberhalb Emmerich (Bild in Abb. 2). Durch die flächenhaften Aufnahmen sind ergänzende Betrachtungen, bezüglich Volumenbilanzen an der Sohle, erst möglich geworden. Es ist aber unerlässlich, den flächenhaften Aufnahmen verschiedener Epochen ein immer gleiches Rechengitter vorher zur Verfügung zu stellen. Dadurch können erst Vergleiche im Hinblick auf morphologische Prozesse in kleinräumigen Abschnitten beschrieben werden.

Die Vielzahl der unterschiedlichen Bauwerke im Mittelwasserbett sind über flächenhafte Peilaufnahmen besser erkennbar und können somit einer optimierten Ausbau- oder Unterhaltungsstrategie zugeführt werden. Die Möglichkeiten der flächenhaften Vermessung und deren Auswertungen sind noch nicht abgeschlossen; hier sind gerade für Bundeswasserstraßen ungeahnte innovative Möglichkeiten für die Zukunft zu sehen.

4 Wasserstand und -abfluss

Die vermeintlich einfachste Methode, Veränderungen im und am Fluss zu beschreiben, ist der Wasserstand, so würde jeder sofort sagen. Dies ist aber keinesfalls so. In Abb. 3 sind die Wasserstände am Pegel Köln nicht in Zentimeter, wie üblich, sondern in müNN dargestellt.

Zudem sind die Werte um die Veränderung des Pegelnullpunktes bereinigt worden. Denn durch vermessungstechnische Veränderungen, Umgestaltungen im Gewässerbett oder einfach durch Erosion der Sohle, ändert sich der Wasserstand am Pegel bei gleichem Abfluss.

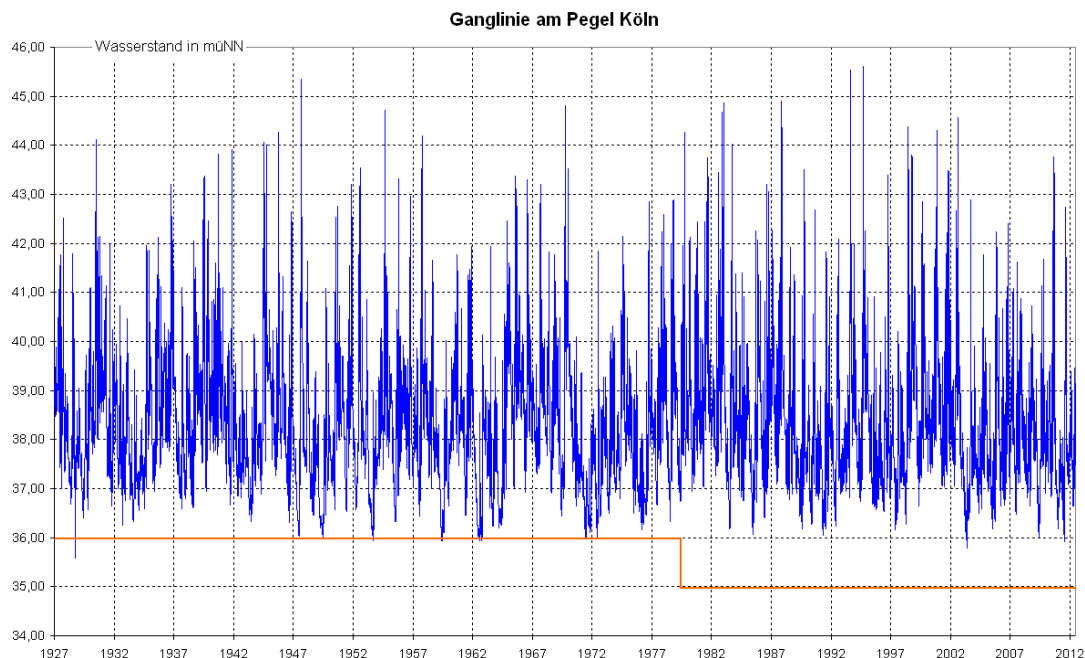


Abb. 3: Ganglinie in müNN am Pegel Köln mit Zuordnung des Pegelnullpunktes in rot

Somit ist es doch nicht mehr so einfach, über den Wasserstand und dessen Veränderungen auf Umgestaltungen, natürlich oder anthropogen, im Fluss schließen zu können. Es wird ein zweiter unabhängiger Parameter benötigt, das ist der Abfluss. Ohne die Zuordnung eines Abflusses zu einem Pegelstand kann keine Aussage über flussmorphologische Entwicklungen gemacht werden. Der bestimmende Faktor in diesem Wertepaar von Wasserstand und Abfluss ist immer der Abfluss.

Aus diesem Grund ist es enorm wichtig, die Abflusskurven, die einem Pegel zugeordnet werden, immer zu aktualisieren. Ein Vergleich verschiedener Wasserstände kann nur bei gleichem Abfluss geschehen. Wenn dieser Sachverhalt immer eingehalten wird, können Veränderungen im Flussbett bezüglich der hydrologischen Parameter, wie z. B. des Wasserstands, beschrieben werden.

Der grafischen Auswertung von Wasserstandsdaten kommt eine besondere Bedeutung zu, so ist die Abb. 3 nur bedingt nutzbar. Für die Darstellung der Ganglinie über eine Epoche zum Pegelnullpunkt ist das ausreichend. Eine bessere Darstellung ist das Überlagern von Jahreswerten mit der Zuordnung von Über- und Unterschreitungen; dies auch wieder abflussorientiert.

Um die Strecke zwischen den Pegeln ebenfalls auf Wasserstand und Abfluss beschreiben zu können, werden Wasserspiegelfixierungen durchgeführt. Abbildung 4 zeigt verschiedene Aufnahmen von 2003 bis 2006 für den Niederrhein.

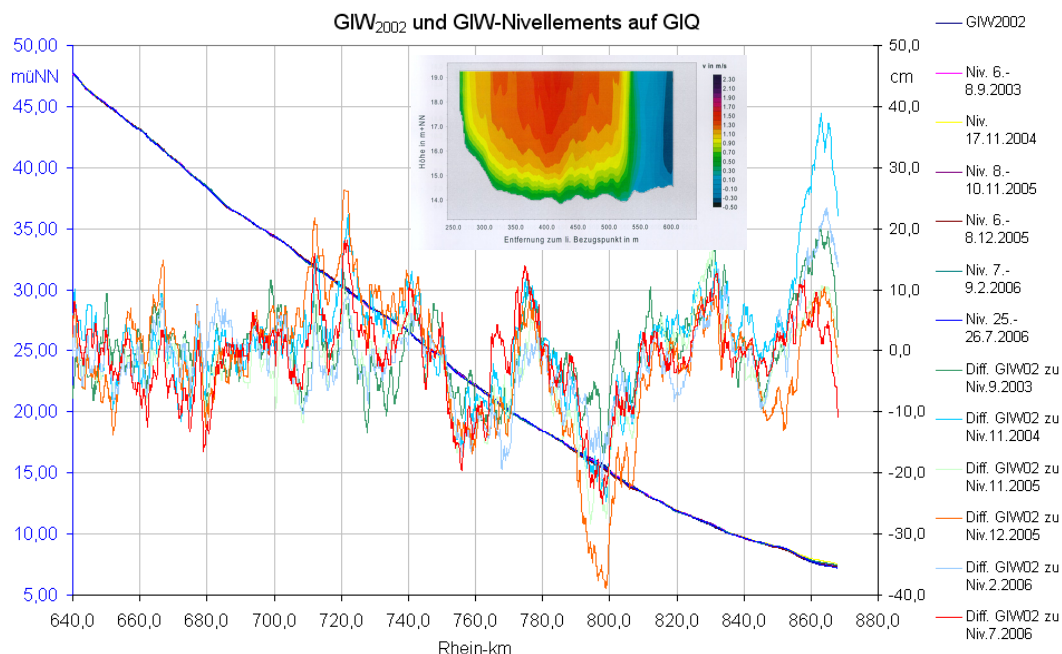


Abb. 4: Wasserspiegelfixierungen (-nivellements) zu verschiedenen Zeitpunkten mit immer gleichem Abflussbezug, hier auf GIQ, in Differenz zum GIW von 2002

Durch die Aufnahme in Flussachse in langsamer Talfahrt ist eine hinreichende vermessungstechnische Genauigkeit erreicht. Der Schiffsverkehr wird nach Berg- und Talfahrern im Profil erfasst und, wenn nötig, in der Wasserspiegellage korrigiert. Nach Umrechnen der Fixierung auf Beharrung kann der Wasserspiegel einem gemessenen Abfluss zugeordnet werden. Der Abfluss wird zur Fixierung parallel erfasst, das Bild in Abb. 4 zeigt ein Geschwindigkeitsprofil einer Abflussmessung. Danach wird die Wasserspiegellage auf einen kennzeichnenden Abfluss, z. B. dem GIQ bezogen. So sind alle Fixierungen untereinander vergleichbar und können in Differenz zum Ausgangswasserstand, hier der GIW von 2002, beschrieben werden. Aus dieser Auswertung können Veränderungen im Gewässerbett lokalisiert und weitergehend betrachtet werden. In Abb. 4 sind der Wasserspiegelabsenk bei Rhein-km 800 auf Bergsenkungen und die große Streuung unterstrom ab Rhein-km 860 auf enorme Erosionsraten, Verklappungen und Baggerungen verschiedener Baumaßnahmen, zurückzuführen.

5 Geschiebetrieb

Einen Hinweis auf flussmorphologische Entwicklungen gibt auch der Geschiebetrieb, dies ist die Bewegung von Sanden und Kiesen an der Sohle. Um die Mengen ermitteln zu können, sind in verschiedenen Abständen entlang des Flusses Geschiebemesstellen eingerichtet worden. An diesen Messstellen werden mit einem Geschiebefänger definierte Messungen nach einem bestimmten Messraster durchgeführt. Die einzelnen Messungen werden in eine Geschiebetriebfunktion nach Masse je Zeiteinheit und zugeordnetem Abfluss eingeordnet. Am unteren Niederrhein bei Wesel ist der Geschiebetrieb bei Mittelwasser zwischen einem und sechs Kilogramm pro Sekunde einzuordnen. Für das Jahr ergibt sich so eine Menge von über 100.000 m³ an Sanden und Kiesen, die sich an der Sohle talwärts bewegen. Reicht das Geschiebe von oberstrom oder von den Zuflüssen nicht aus, nimmt der Fluss Sohlmaterial auf

und rekrutiert so sein Geschiebe. In diesem Fall erodiert die Flusssohle. Um dieser Erosion entgegen zu wirken, wird Geschiebeersatzmaterial in verschiedenen Körnungen und Mengen an definierten Stellen zugegeben. Abbildung 5 zeigt die Massen je Kalenderwoche an den verschiedenen Zugabestellen des unteren Niederrheins.

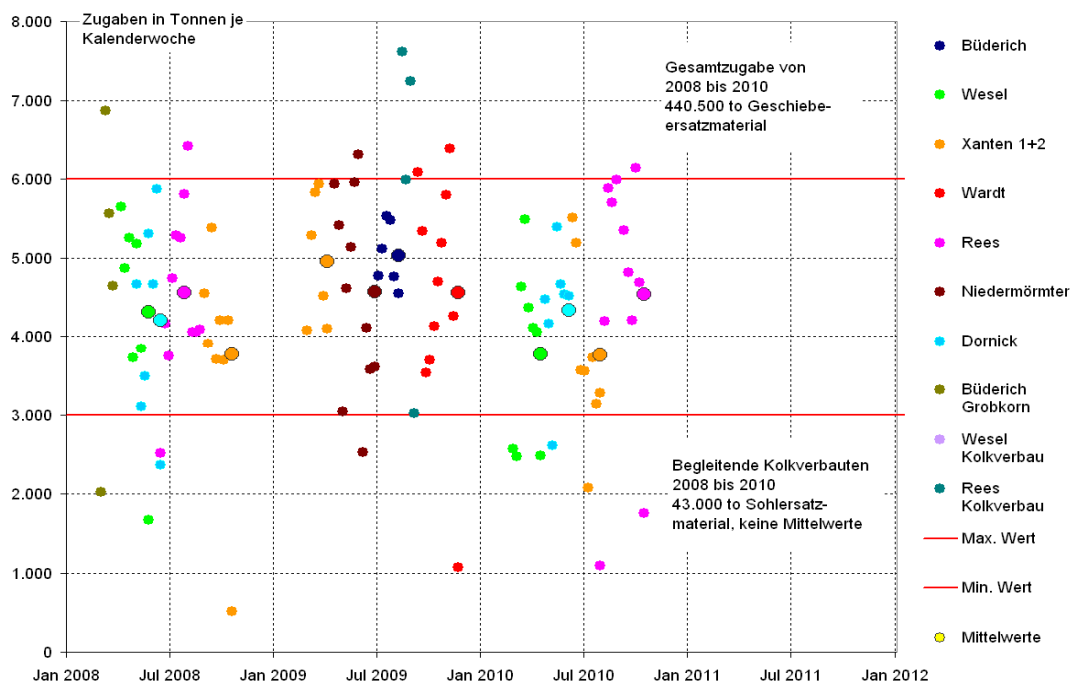


Abb. 5: Geschiebezugaben mittels Ersatzmaterial am unteren Niederrhein

Mit diesen Zugaben konnte die Sohlerosion von bisher über 2 cm/a, zwischen Wesel und Lobith, auf unter 1 cm/a reduziert werden. Diese Reduktion ist leider in der Grenzstrecke zu den Niederlanden unterhalb Emmerich noch nicht zu verzeichnen. Es sind aber Konzepte und Umsetzungsstrategien in Bearbeitung, die auch in dieser Strecke eine Erosionsverminderung zum Ziel haben.

6 Gewässerbett

In den vorliegenden Kapiteln ist die Gewässergeometrie, der im Flussbett anstehende Wasserstand mit Abfluss sowie der an der Sohle stattfindende Geschiebetrieb beschrieben worden. Damit ist ein Fluss im Groben mit den flussmorphologischen Prozessen erklärbar. Beim Rhein ist aber der Untergrund von zentraler Bedeutung; gerade in erosiven Bereichen stehen nicht immer nur Sande und Kiese an. Wie in Abb. 6 zu erkennen, liegen die tertiären Feinsande in Teilbereichen am Niederrhein in einer hohen Lage an. Teilweise reichen ihre Oberflächen schon bis in die Deckschicht der Sohlagen. In diesen Querschnitten ist eine erhöhte Erosion durch das fein anstehende Material möglich. Hier sind umfangreiche Sicherungsmaßnahmen, wenn möglich im Vorfeld, durchzuführen.

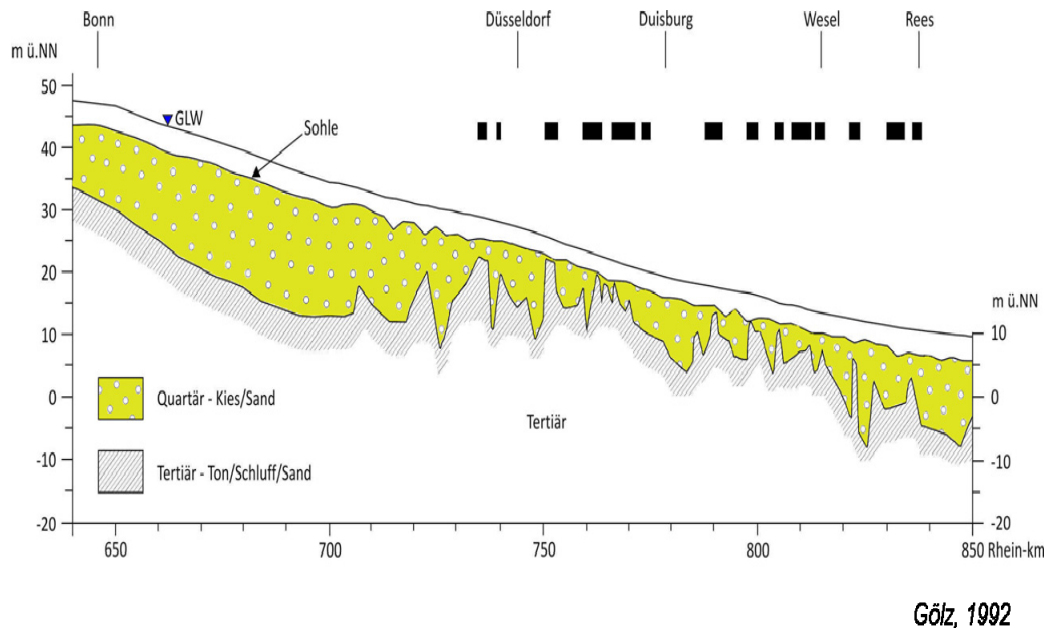


Abb. 6: Geologischer Längsschnitt zwischen Bonn und Emmerich

Um diese Erkenntnis gewinnen zu können, sind umfangreiche Sohl- und Untergrundanalysen in geringem Raster entlang des Flusses notwendig. Am Niederrhein wurden daher alle 500 m aus der Deckschicht und in einer Tiefe von ca. 50 cm jeweils 5 Proben, über den jeweiligen Querschnitt verteilt, genommen. So ist eine Betrachtung im Längsschnitt mit der Deckschicht und der unterliegenden Schicht möglich. Mit einem Vergleich verschiedener Aufnahmen aus unterschiedlichen Epochen lassen sich Ableitungen auf die Sohlstruktur gewinnen. Es fehlen für eine ergänzende Betrachtung leider noch Tiefenproben. Diese werden im Rahmen weiterer Projekte in naher Zukunft sukzessiv genommen und ausgewertet.

7 Ausblick

Das Wissen um die flussmorphologischen Entwicklungen am Rhein dient dem Erhalt der Bundeswasserstraße Rhein. Durch unterschiedliche Erosions- und Akkumulationszonen wird der Schifffahrt ohne Ausbau und Unterhaltung ein schwieriges Fahrwasser zugemutet. Verlässliche Abladetiefen sind so wirtschaftlich nicht gegeben, die Sicherheit und Leichtigkeit ist gefährdet. Aber auch die Anlagen im und am Strom sind bei Erosionsraten von 1 bis 2 cm/a gefährdet, Brückenpfeiler haben nicht genügend Einbindetiefe und die Sohle der Häfen „wächst“ den Schiffen vermeintlich entgegen, da diese nicht erodiert.

Aber auch Natur und Landschaft, wie auch die Wasserwirtschaft, haben mit der Erosion zu kämpfen. Durch die Erosion sinkt der Wasserspiegel des Rheins zwischen Niedrig- und Mittelwasser enorm ab, ihm folgt der Grundwasserstand, der dann tiefer unter dem Vorland aufzufinden ist. So bekommen Pflanzen nicht genügend Grundwasser zum Überleben, den Lebewesen fehlt dadurch die Nahrungsgrundlage. Daher ist es unerlässlich, die flussmorphologischen Entwicklungen zu beschreiben, ihre Wirkungszusammenhänge zu erkennen und Strategien zu entwickeln, die den Fluss für alle zum Wohl gestalten.



Kontakt:

Dipl. Ing. Dietmar Abel

Wasser- und Schifffahrtsamt

Duisburg-Rhein

Königstr. 84

47198 Duisburg

Tel.: 02066/ 418 341

Fax: 02066/ 418 315

E-Mail: dietmar.abel@wsv.bund.de

1983-1990

Studium Bauingenieurwesen an der Technischen
Universität Braunschweig

seit 1991

Angestellter beim WSA Duisburg-Rhein

Projektbearbeitung:

Planfeststellungsverfahren und Ausführung zum
Bau der Flutmulde Rees

Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements am
Niederrhein

Erstellen von Machbarkeitsstudien zur Verbesse-
rung der Schifffahrtsverhältnisse und Erstellen von
Haushaltsunterlagen für den Niederrhein

Von der Quelle bis zur Mündung: Eine Sedimentbilanz des Rheins

Nicole Gehres, Birgit Brandstetter, Gudrun Hillebrand
und Roy Frings

1 Einleitung

In diesem Beitrag wird das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Von der Quelle zur Mündung: Eine Sedimentbilanz des Rheins“ vorgestellt, welches seit Juli 2012 an der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Rahmen der Ressortforschung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung bearbeitet wird.

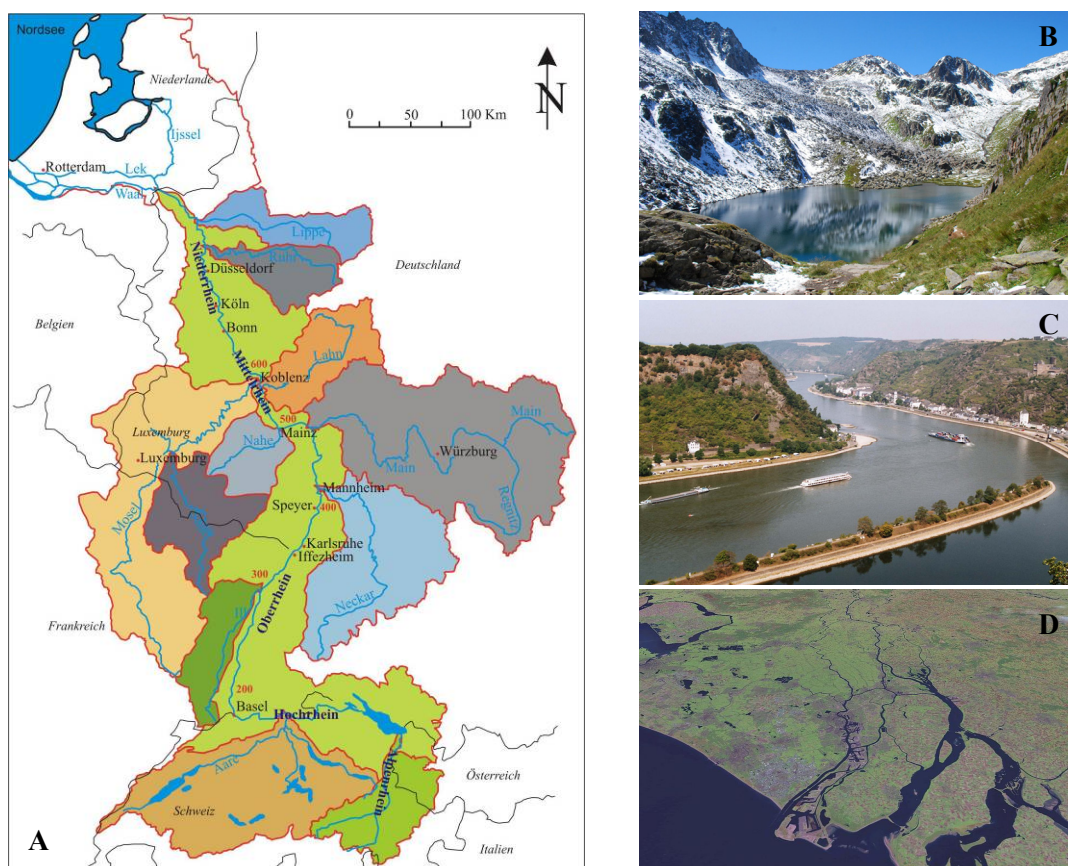


Abb. 1: (A) Überblick über das Rheineinzugsgebiet unterteilt nach den Einzugsgebieten der Nebenflüsse (NIPPES 1993) und der Rhein (B, Foto: Frings) von der Quelle, dem Tömmasee, über (C, Foto: BfG) den Mittelrhein bis (D, Quelle: NASA World Wind screenshot, public domain) zur Mündung in die Nordsee.

Der Rhein ist ein mitteleuropäischer Fluss, dessen Quellflüsse, der Vorder- und der Hinterrhein, in den Schweizer Alpen liegen (Abb. 1, B). Am Zusammenfluss der Quellflüsse entsteht der Alpenrhein, der auf 396 m über NN in den Bodensee mündet. Der Rhein verlässt den Bodensee schließlich als Hochrhein bei Stein am Rhein und tritt bei Basel (Rhein-km 167) in den Oberrheingraben ein. Der Oberrhein fließt über 300 km von Süden nach Norden und endet an der Nackenheimer Schwelle (Rhein-km 486). Im anschließenden Rheingau strömt der Rhein nach Westen parallel zum Taunusrand, bevor er bei Bingen (Rhein-km 529) ins Rheinische Schiefergebirge eintritt und sich wieder nach Norden wendet. Rheingau und Gebirgsstrecke (Abb. 1, C) gehören zum Mittelrhein. Der Niederrhein erstreckt sich von Bonn (Rhein-km 655) bis zum Pannerdensche Kop (Rhein-km 867). An der deutsch-niederländischen Grenze beginnt das Rheindelta zunächst mit Waal und Pannerdensche Kanal, bevor weitere Verzweigungen, Waal, Lek und IJssel, folgen und die Mündungsarme bei Rotterdam nach 1230 km in die Nordsee münden (Abb. 1, D).

2 Ist-Zustand

Der Rhein ist aufgrund seiner günstigen Abflussverhältnisse eine der wichtigsten Wasserstraßen Europas. Er verbindet den Hafen Rotterdam mit den Industriehäfen im Hinterland. Die jährliche Güterbeförderung im Wasserstraßengebiet Rhein, Main, Neckar, Mosel und Saar betrug 2010 rund 197,5 Millionen Tonnen (BDB 2012). Der Rhein als Wasserstraße unterliegt schon seit Jahrhunderten verschiedenen Nutzungsansprüchen. Schon aus der Römerzeit und dem Mittelalter sind Eingriffe in das Flusssystem durch den Menschen bekannt (KALWEIT et al. 1993). Im 18. und 19. Jahrhundert wurde das ursprüngliche, natürliche Flusssystem des Rheins zur Verbesserung der Schifffahrt, zum Hochwasserschutz und zur Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen so stark verändert, dass es zu einer Erhöhung der Wassertiefe, des Gefälles, der Sohlschubspannungen und der Sedimenttransportkapazitäten des Rheins kam (FRINGS et al., subm.). Im 20. Jahrhundert wurde die Sedimentzufuhr aus dem Einzugsgebiet zusätzlich durch den Bau von Staustufen und Wehren im Rhein und seinen Nebenflüssen stark verringert. Seitdem reagiert der Rhein auf das ihm fehlende Sediment gemäß seiner Transportkapazität, indem er seine Flusssohle erodiert (BUCK 1993). Die fortschreitende Sohlenerosion führt zur Herauspräparierung von Grundgebirgsmassen und damit zu einer eingeschränkten Nutzung des Rheins als Wasserstraße, zu Schäden an infrastrukturellen Bauten und zu einer Reduzierung der Wassertiefe in Häfen. Darüber hinaus kommt es zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels und dadurch zu einer Gefährdung der an den Flussschlauch angrenzenden ökologischen Systeme sowie dem Trockenfallen von Grundwassergewinnungsanlagen (GÖLZ 1994). Trotz der Sohlenerosion sind Teilabschnitte des Rheins von Sedimentation betroffen. Dies führt zu Navigationsproblemen während Niedrigwasserperioden und zu Sicherheitsproblemen während Hochwasserperioden. Beide Fälle sind nicht erwünscht.

3 Zielstellung

Die Erosions- und Sedimentationsproblematik im Rhein wird schon seit vielen Jahren auf Basis von Sohlpeilungen, Geschiebe- und Schwebstoffmessungen untersucht. Zu Beginn der meisten morphologischen Analysen im Rhein stehen Betrachtungen von Peilungen der Sohle.

Durch die Subtraktion der Sohlhöhen verschiedener Zeiträume ergeben sich Sohlhöhenänderungen, die auf Sohleintiefung oder Sohlanlandung, also Erosion oder Sedimentation, zurückgeführt werden können. Diese Sohlhöhenänderungen liefern die wesentlichen Informationen, welche für die Unterhaltung des Flusses benötigt werden. Ergänzende Informationen zu den Sohlhöhen aus Peildaten liefern Sedimenttransportmessungen (FRINGS & KLEINHANS 2008, GRASSO et al. 2010, VOLLMER & GÖLZ 2006), sie beschreiben Menge, Art und Charakter der Sedimente, welche vom Fluss transportiert werden. Beide Methoden, Sohlhöhen aus Peildaten und Sedimenttransportmessungen geben jedoch keine Antwort auf Fragestellungen wie: „Aus welchem Gebiet stammen die Sedimentfrachten im Rhein?“, „Was passiert mit den erodierten Sedimenten?“ und „Wie sind die morphologischen Prozesse oberstrom und unterstrom miteinander verknüpft?“ Diese Fragestellungen sind besonders für die Optimierung von Geschiebezugabe- und Baggerstrategien wichtig, können aber nur mit Sedimentbilanzierungen beantwortet werden. Eine Sedimentbilanz beschreibt dabei die Menge der eingetragenen und ausgetragenen Sedimente eines Flussabschnitts und die Veränderung der Sedimentmenge im Flussabschnitt selbst (GRAMS & SCHMIDT 2005, WRIGHT & SCHOELLHAMER 2005). Eine Sedimentbilanz wird benötigt, um das morphologische Verhalten des Flusses zu beschreiben. Ohne sie ist es schwer, Aussagen über morphologische Änderungen, zum Beispiel durch Klimawandel, zu treffen, Bagger- und Zugabestrategien zu verbessern oder numerische Modelle zu kalibrieren. Bisherige Sedimentbilanzen wurden nur für Teilgebiete des Rheins aufgestellt und betrachten häufig nur ein oder zwei Sedimentfraktionen.

Das Ziel dieses Projekts ist die Aufstellung einer Sedimentbilanz für den gesamten Rheinlauf von der Quelle in den Schweizer Alpen bis zur Mündung in die Nordsee. Dazu werden die Sedimentfrachten verschiedener Fraktionen sowie deren Quellen und Senken langfristig (über circa 20 Jahre) ermittelt. Die Datengrundlage ist gut und für viele Teilstrecken existieren bereits Bilanzierungen, die aktualisiert und miteinander verknüpft werden müssen. Der Sedimenteintrag aus Nebenflüssen und diffusen Quellen, der Sedimentaustrag ins Vorland, in Hafenbecken und in Alt- und Nebenarme sowie der Sediment austausch mit Buhnenfeldern müssen noch genauer untersucht werden. Ergänzend zu den bereits genannten Prozessen wird auch die Bodenerosion im Einzugsgebiet des Rheins mitbetrachtet.

4 Methodik

Zunächst werden an den entlang des Rheins verteilten Sedimenttransportmessstellen die Sedimentfrachten bestimmt und Frachtlängsschnitte erstellt. Es ist wichtig, dass alle Daten auf die gleiche Art und Weise sowie für einen einheitlichen Zeitraum ausgewertet werden. Dafür werden für jede Messstelle, getrennt nach Fraktionen, Transport-Abfluss-Beziehungen aufgestellt. Bisherige Auswertungen haben gezeigt, dass Potenzfunktionen dafür am besten geeignet sind (FRINGS & VOLLMER 2009, FRINGS et al., subm.). Diese Funktionen reagieren jedoch empfindlich auf Ausreißer, daher muss ein geeignetes Selektionsverfahren angewendet werden. Wichtig ist, dass die Kurven für das komplette Abflussspektrum repräsentativ sind. Die Transport-Abfluss-Beziehungen werden mit Tagesabflusswerten der entsprechenden Rheinpegel kombiniert, um daraus die Jahresfrachten zu berechnen.

Nachdem die Sedimentfrachten berechnet wurden, können die Quellen und Senken der transportierten Sedimente bestimmt werden. Um eine Sedimentbilanz für den Rhein aufstellen zu können, werden die Sedimentmengen, welche in das Untersuchungsgebiet eingetragen (I in t/a), welche aus dem Untersuchungsgebiet ausgetragen (O in t/a) und welche im Untersuchungsgebiet verbleiben (ΔS in t/a) werden, benötigt:

$$I_{\text{oberstrom}} + I_{\text{Nebenflüsse}} + I_{\text{Ufererosion}} + I_{\text{(Geschiebe-)Zugaben}} - O_{\text{unterstrom}} - O_{\text{Nettobaggermengen}} - O_{\text{Überflutungsflächen / Bühnenfelder}} - O_{\text{Abrieb}} = \Delta S$$

$$\text{mit } \Delta S = \frac{\Delta z - \Delta z_t}{\Delta t} WL \rho_s (1 - p)$$

Δz gibt die Sohlhöhenänderung (in m) aus Peilungen, Δz_t die tektonische Sohlhöhenänderung (in m), Δt die Zeit (in Jahren), W die Flussbreite (in m), L die Länge des Flussabschnitts (in m), ρ_s die Korndichte (in t/m³) sowie p die Porosität (-) an. In Abb. 2 ist die Sedimentbilanz schematisch in Form eines Blockbildes dargestellt.

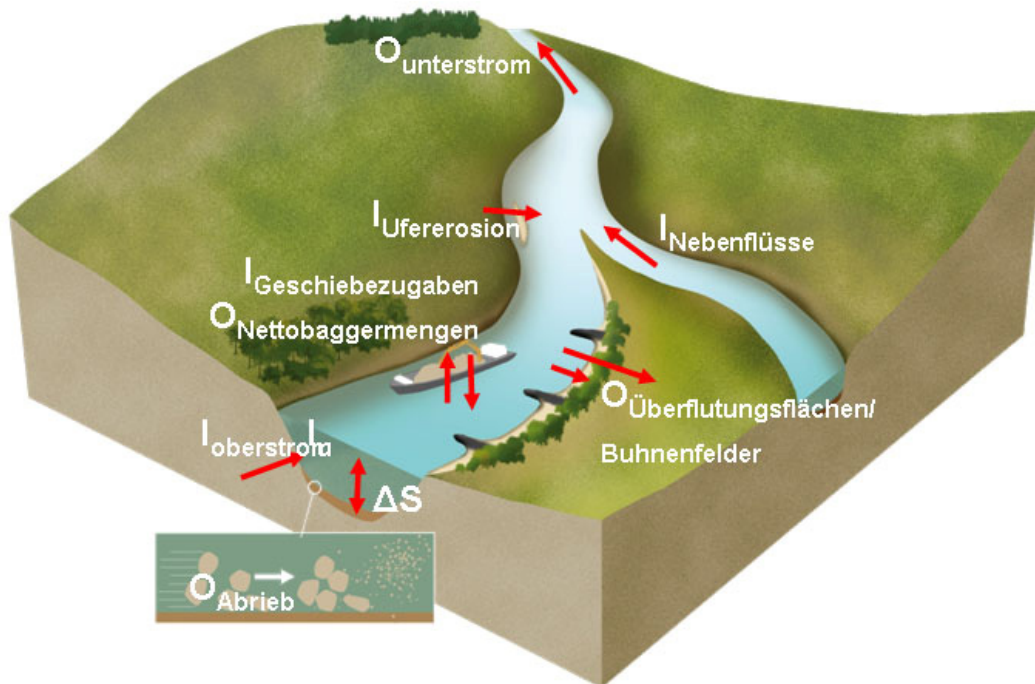


Abb. 2: Schematische Darstellung der Sedimentbilanz. Mit **I** gekennzeichnete Parameter repräsentieren die Sedimentmengen, die in das Untersuchungsgebiet eingetragen werden. Die mit **O** gekennzeichneten Mengen verlassen das System. Tektonische Landbewegungen und der Sedimenteintrag durch Ufererosion werden in dieser Darstellung vernachlässigt (FRINGS et al., subm.).

5 Stand des Wissens

Im Schweizer Einzugsgebiet des Rheins wurden einige Sedimentbilanzen aufgestellt. Eine von ihnen fokussiert den Vorder-, Hinter- und Alpenrhein, wohingegen eine andere die Thur, einen Hauptzufluss des Rheins in der Schweiz, betrachtet (SPREAFICO & LEHMANN 2009,

ZARN 2008). Beide Analysen erwähnen die Sedimentzufuhr aus Nebenflüssen, Sedimententnahmen, Abrieb und Sohlhöhenänderungen. Obwohl die Analysen weniger detailliert sind als die vorliegenden aus Deutschland und den Niederlanden, liefern sie interessante neue Erkenntnisse. Eine davon ist die Feststellung, dass, wenn in Zukunft die Kiesentnahme in der Thur endet, die Sohlerosion trotzdem weiter fortschreiten wird.

Vom frei fließenden Oberrhein und Mittellrhein gibt es aus jüngster Zeit detaillierte morphologische Analysen (FRINGS et al., subm., FRINGS & VOLLMER 2009, PROMNY et al. 2010, WEICHERT et al. 2010). Im Gegensatz zu früheren Auswertungen wird in dieser Studie zwischen verschiedenen Sedimentfraktionen (Schluff, Sand, Feinkies und Grobkies) unterschieden und eine erste Sedimentbilanz für dieses Gebiet aufgestellt. Für die Auswertung wurden zunächst die Sohlhöhenänderungsraten zwischen 1985 und 2006 berechnet und der gleitende Durchschnitt über 10 km gebildet, um langfristige Entwicklungen beschreiben zu können (Abb. 3). Obwohl die Sohlhöhenänderungen systematische Fehler enthalten können (± 5 cm), ergeben sich über längere Zeiträume signifikante Sohlhöhenänderungen. Es muss aber beachtet werden, dass die Sohlhöhenänderungen räumlich und zeitlich sehr variabel sind.

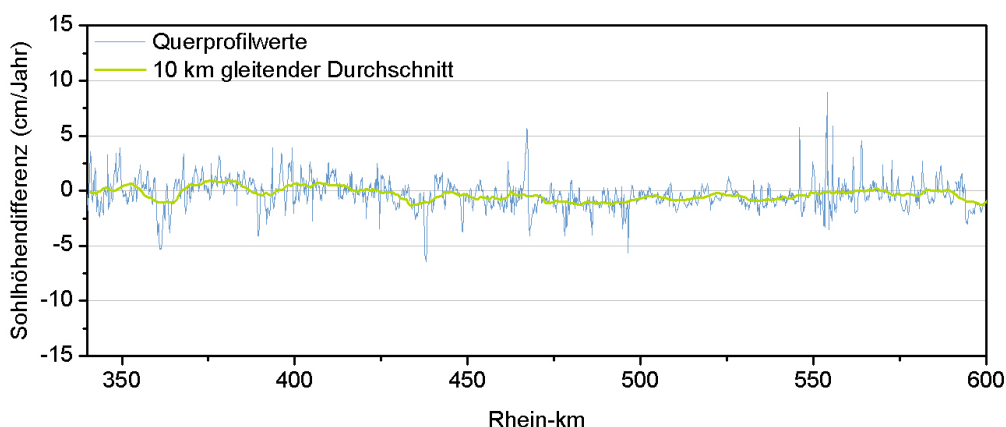


Abb. 3: Sohlhöhenänderungen im Längsverlauf des Rheins von Rhein-km 340 bis 600 zwischen 1985 und 2006 (FRINGS et al., subm.).

Auf Grundlage dieser Sohlhöhenänderungen wurde eine Sedimentbilanz erstellt. Zur Interpretation der Sedimentbilanz werden die Sedimentfrachten benötigt, welche regelmäßig an Sedimenttransportmessstationen entlang des Rheins gemessen werden. Die berechneten Frachten basieren, wie in Kapitel 3 beschrieben, auf Transport-Abfluss-Beziehungen, die getrennt für die verschiedenen Fraktionen aufgestellt wurden. Die bettbildenden Frachten zeigen, dass entgegen der Erwartungen die Bilanz des Oberrheins auf eine Sedimentation von Kies hindeutet, während es gleichzeitig zu einer Erosion von Sand aus der Sohle kommt (Abb. 4).

Die Analysen zeigen, dass ein kleiner Teil des erodierten Sandes langsam als Geschiebe aus dem Untersuchungsgebiet ausgetragen wird, während der Großteil des Sandes als Suspensionsfracht schnell nach unterstrom verfrachtet wird. Dies lässt vermuten, dass Sohlsedimente aus dem Ober- und Mittellrhein den Niederrhein innerhalb weniger Tage erreichen können. Ein weiteres Ergebnis der Untersuchung war, dass ein signifikanter Teil des Sand- und Kiestransportes des Flusses durch Abrieb, Baggerungen und Ablagerungen auf Überflutungsflächen verloren geht. Es wurde auch deutlich herausgestellt, dass Oberrhein und Mittellrhein

trotz der Geschiebezugabe bei Iffezheim von einem dynamischen Gleichgewicht weit entfernt sind. Fast 40 % der Sedimentfrachten stammen aus der Sohle, wodurch die Rheinsohle weiter erodiert wird (Abb. 5).

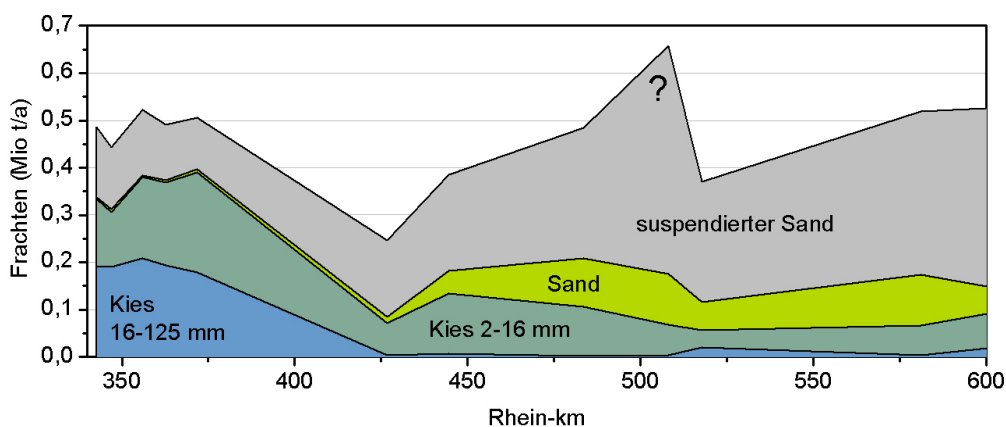


Abb. 4: Mittlere Geschiebefrachten und mittlere Frachten des suspendierten Sandes im Untersuchungsgebiet zwischen 1985 und 2006. Die Messstelle bei Rhein-km 508 ist vermutlich mit einem systematischen Fehler behaftet und wurde in dieser Abbildung mit einem Fragezeichen gekennzeichnet (FRINGS et al., subm.).

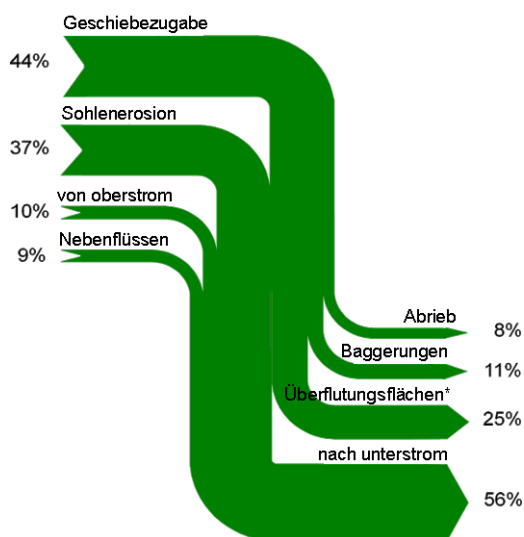


Abb. 5: Sedimentbilanz für die Fraktionen Kies und Sand für das Untersuchungsgebiet Ober- und Mittelrhein von Rhein-km 336 bis 640 (FRINGS et al., subm.).
(* geschätzt)

Aktuelle Ergebnisse liegen auch aus einer Sedimentbilanz des Niederrheins vor, welche in Zusammenarbeit zwischen BfG, RWTH Aachen und dem WSA Duisburg entstanden ist (FRINGS et al., subm.).

Für den niederländischen Rhein haben TEN BRINKE et al. (1998, 1999, 2004) und SNIPPEN et al. (2005) alle für eine Sedimentbilanz nötigen Informationen gesammelt. Daraus sind zwei detaillierte Sedimentbilanzen, eine für die Fraktion Schluff und eine für die Fraktionen Sand und Kies, entstanden (TEN BRINKE 2005). Ergebnisse dieser Arbeit sind zum Beispiel, (1) dass nur zwei Drittel des Sediments, welches vom Rhein angeliefert wird, im Rheindelta sedimentiert (der Rest wird bis in die Nordsee transportiert), (2) dass Sand und Kies über andere Wege im Rheindelta verteilt werden als Schluff und (3) dass große Sedimentmengen an Uferwällen und in den Bühnenfeldern während Hochwasserereignissen abgelagert werden, wohingegen sie während Niedrigwasserphasen durch schiffsinduzierte Strömungen wieder erodiert werden.

6 Ausblick und Vernetzung

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Von der Quelle zur Mündung: Eine Sedimentbilanz des Rheins“ gliedert sich in verschiedene Arbeitspakete. Dazu gehören das Datenmanagement und die Qualitätssicherung des Schwebstoffmonitorings am Rhein, aber auch Laboruntersuchungen mit Geschiebefängern, die der Qualitätssicherung der Geschiebemessungen und der Verbesserung der Geschiebefrachten dienen. Vor allem im Bereich der Bühnenfelder und Überflutungsflächen sowie sonstigen Seitenstrukturen (z. B. Häfen) bestehen signifikante Daten- und Kenntnislücken, die durch ergänzende Naturmessungen geschlossen werden sollen. Zur Schließung dieser Lücken ist die Zusammenarbeit auf nationaler Ebene mit den Wasser- und Schifffahrtsämtern am Rhein notwendig. Aber auch eine internationale Zusammenarbeit mit den an Deutschland angrenzenden Rheinanliegerstaaten Schweiz, Frankreich und den Niederlanden ist unerlässlich. Dafür wird ein grenzüberschreitendes Netzwerk aus Institutionen und Wissenschaftlern geschaffen, um den Austausch von Daten und Informationen sowie die Durchführung gemeinsamer Untersuchungen zu ermöglichen. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR).

Alle Teilbilanzen des Rheins werden schließlich für einen Zeitraum von 20 Jahren zu einer Sedimentbilanz des gesamten Rheins von der Quelle bis zur Mündung zusammengeführt. Die Aufstellung einer solchen Sedimentbilanz, für einen Fluss so groß wie der Rhein, ist bisher einzigartig und entspricht der flussgebietsweiten Betrachtung, die unter anderem durch die europäische Gewässerschutzpolitik vorgegeben wird.

Literatur

- BDB (2012): Daten und Fakten 2010/2011. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V.
- BUCK, W. (1993): Eingriffe und Ereignisse im 19. Jahrhundert und 20. Jahrhundert. Oberrhein bis zum Neckar. In: Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (Hrsg.): Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen - Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft. Bericht 1-11. Lelystad, NL, 70-96.
- FRINGS, R. M., N. GEHRES, M. PROMNY, H. MIDDELKOOP, H. SCHÜTTRUMPF, S. VOLLMER (subm.): Morphodynamics of a restrained river: the central reach of the Rhine. Geomorphology.
- FRINGS, R.M. & M. G. KLEINHANS (2008): Complex variations in sediment transport at three large river bifurcations during discharge waves in the river Rhine. *Sedimentology* 55, 1145-1171.
- FRINGS, R. M. & S. VOLLMER (2009): Morphological development of the Rhine between 1996 and 2006. A comparison of two approaches: sediment transport measurements and echosounding surveys. Koblenz, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG-1640), 1-36.
- GÖLZ, E. (1994): Bed degradation - Nature, Causes, Countermeasures. *Water Science and Technology* 3, 325-333.
- GRAMS, P. E. & J. C. SCHMIDT (2005): Equilibrium or indeterminate? Where sediment budgets fail: Sediment mass balance and adjustment of channel form, Green River downstream from Flaming Gorge Dam, Utah and Colorado. *Geomorphology* 71, 156-181.

- GRASSO, A., A. JAKOB, M. SPRAFICO & D. BÉROD (2010): Monitoring von Feststofffrachten in schweizerischen Wildbächen. Baden, Schweiz, Wasser Energie Luft (102, 1), 41-46.
- KALWEIT, K., W. BUCK, K. FELKEL, H. GERHARD, B. PLOEGER & W. SCHMITZ (1993): Menschliche Einwirkungen vor dem 19. Jahrhundert. In: Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, (Hrsg.), Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen - Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft. Bericht 1-11. Lelystad, NL, 37-54.
- NASA AMES RESEARCH CENTER (2007): NASA World Wind. from <http://worldwind.arc.nasa.gov/index.html>.
- NIPPES, K.-R. (1993): Besiedlung und Wassernutzung. In: Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, (Hrsg.), Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen - Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft. Bericht 1-11. Lelystad, NL, 22-36.
- PROMNY, M., R. M. FRINGS, N. GEHRES, N. BUSCH, S. VOLLMER & E. GÖLZ (2010): Analyse und Bewertung der hydraulisch-morphologischen Situation zwischen Iffezheim und Mainz. Koblenz, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG-1702).
- SNIPPEN, E., A. FIOOLE, H. GEELLEN, A. KAMSTEEG, A. VAN SPIJK, T. VISSER (2005): Sediment in (be)weging. Sedimentbalans Rijn-Maasmonding periode 1990-2000. RWS-RIZA, Arnhem
- SPRAFICO, M. & C. LEHMANN (2009): Erosion, Transport and Deposition of Sediment. Case Study Rhine. Lelystad, International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin (CHR Report II-20).
- TEN BRINKE, W. (2005): The river Rhine, a restrained river. Diemen: Van Veen Magazines.
- TEN BRINKE, W. B. M., N. M. KRUYT, A. KROON & J. H. VAN DEN BERG (1999): Erosion of sediments between groynes in the River Waal as a result of navigation traffic. Spec. Publs int. Ass. Sediment Vol. 28, 147-160.
- TEN BRINKE, W. B. M., M. M. SCHOOR, A. M. SORBER & H. J. A. BERENDSEN (1998): Overbank deposits in relation to transport volumes during large-magnitude floods in the Dutch sand-bed Rhine river system. Earth surface processes and landforms 23, 809-824.
- TEN BRINKE, W. B. M., F. H. SCHULZE & P. VAN DER VEER (2004): Sand exchange between groyne field beaches an the navigation channel of the Dutch Rhine: the impact of navigation versus river flow. River Research an Applications 20 (8), 899-928.
- VOLLMER, S. & E. GÖLZ (2006): Sediment Monitoring and Sediment Management in the Rhine River in "Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems". IAHS Publication 306.
- WEICHERT, R. B., A. WAHRHEIT-LENSING, R. M. FRINGS, M. PROMNY & S. VOLLMER (2010): Morphological characteristics of the river Rhine between Iffezheim and Bingen. River Flow 2010, Braunschweig.
- WRIGHT, S. A. & D. H. SCHOELLHAMER (2005): Estimating sediment budgets at the interface between rivers and estuaries with application to the Sacramento–San Joaquin River Delta. Water Resources Research 41 (w09428).
- ZARN, B. (2008): Entwicklungskonzept Alpenrhein, Development concept river alpine rhine. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 2008 (05-06), 81-87



Kontakt:

Dipl.-Geol. Nicole Gehres

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/1306 5977
Fax: 0261/ 1306 5280
E-Mail: gehres@bafg.de

2003-2009

Studium der Technischen Geowissenschaften an der Universität Stuttgart

2008-2009

Diplomarbeit an der Bundesanstalt für Gewässerkunde zum Thema „Flussbettentwicklung und Sohldynamik des frei fließenden Oberrheins von Iffezheim bis Mainz von 1975 bis heute“.

seit 2009

Wissenschaftliche Angestellte bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

2009-2012: Mitarbeit im Forschungsprogramm KLIWAS 3.03: Einfluss klimabedingter Änderungen auf den Sedimenthaushalt der Nordseeästuare.

seit 2012: Projektleitung im F&E – Projekt „Von der Quelle zur Mündung, eine Sedimentbilanz des Rheins“



Kontakt:

M. Sc. Birgit Brandstetter

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/1306 5030
Fax: 0261/ 1306 5280
E-Mail: brandstetter@bafg.de

2006-2012

Studium des Bauingenieurwesens an der Fachhochschule Koblenz (Bachelor) und an der Technischen Universität Darmstadt (Master)

2009

Bachelorthesis bei der Firma Wald und Corbe Ingenieurbüro für Wasserbau, Wasserwirtschaft und Tiefbau zum Thema „Hochwasserschutzkonzeption Westliche Günz - Variantenvergleich und lokale konstruktive Maßnahmen“.

2011-2012

Masterthesis an der Bundesanstalt für Gewässerkunde zum Thema „Messverfahren des Geschiebetransports in Flüssen“.

seit 2012

Wissenschaftliche Angestellte bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

seit 2012: Mitarbeit im F&E – Projekt „Von der Quelle zur Mündung, eine Sedimentbilanz des Rheins“

Bergsenkungen im Ruhrgebiet – Ausmaß und Folgen

Stefan Harnischmacher

1 Problemstellung und Zielsetzung

Großflächige Absenkungen der Geländeoberfläche als Folge der unterirdischen Gewinnung von Steinkohle im Tiefbau führten bereits im Jahre 1855 zu ersten Klagen über Bergschäden im Essener Raum. Insbesondere die Vorfluterverhältnisse im Einzugsgebiet der Emscher erfuhren irreversible Veränderungen, als der Bergbau ab Mitte des 19. Jahrhunderts die Emscherzone erreichte: Es entstanden Senkungssümpfe, die den Abfluss der zudem stark verunreinigten Emscher und ihrer Nebengewässer behinderten und im Extremfall sogar eine Umkehr des Gefälles verursachten (PETERS 1999). Nach Gründung der Emschergenossenschaft im Jahre 1899 erfolgten der technische Ausbau des Gewässersystems zu Abwassersammlern und eine künstliche Entwässerung der Senkungsbiete durch Pumpwerke (HELD & HERGET 2005). Insgesamt werden heute mehr als 200 Pumpwerke betrieben, die 38 % des Emschergenossenschafts- und 15 % des Lippeverbandsgebietes künstlich entwässern. Die Ursachen großflächiger Bergsenkungen sind im Gewinnungsverfahren des Langfrontbaus zu suchen, bei dem entlang des bis zu 350 m langen Strebs Steinkohle gewonnen und an die Tagesoberfläche befördert wird. Das Volumendefizit paust sich als großräumige und flache Senkungsmulde bis zur Tagesoberfläche durch (SZELAG & WEBER 1993).

Bei Durchsicht zugänglicher Quellen zu den beobachteten Ausmaßen von Bergsenkungen im Ruhrgebiet sind lediglich vereinzelte Angaben über maximale oder mittlere Senkungsbeträge in unterschiedlichen Raumausschnitten zu finden. Es fehlt jedoch eine großmaßstäbige und flächendeckende Übersicht der bergbaubedingten Höhenänderungen, deren Ergebnisse auf einer belastbaren und reproduzierbaren Methode beruhen. So entstand in Kooperation mit der Bezirksregierung Köln (Abteilung 7 - GEObasis.nrw) die Idee, früheste erfasste und veröffentlichte Höheninformationen der Preußischen Landesaufnahme zu nutzen, um sie mit aktuellen Geländehöhen zu vergleichen. Zielsetzung war eine systematische und digitale Erfassung der historischen Höhen mit Hilfe des Geographischen Informationssystems ArcGIS und ihre Verschneidung mit aktuellen Digitalen Geländemodellen, so dass nunmehr erstmals für das gesamte Ruhrgebiet Daten zu bergbaubedingten Höhenänderungen im großen Maßstab vorliegen (HARNISCHMACHER 2012).

2 Material und Methoden

Bereits im Jahre 1846 entschloss sich die Preußische Landesaufnahme, das Gelände künftig durch Höhenlinien darzustellen. Die technischen Voraussetzungen wurden durch Einführung der Kippregel geschaffen, mit deren Hilfe Höhen durch äquidistante Höhenlinien einfacher aufzunehmen und nachvollziehbar darzustellen waren (KRAUSS 1969). Damit bilden die Blätter der Preußischen Landesaufnahme erstmals flächendeckend Höhenlinien und -punkte für das gesamte damalige Staatsgebiet ab. Sie waren die Basis für eine digitale Erfassung sämtlicher Höhenlinien und -punkte im beschriebenen Projekt.

Insgesamt 22 Kartenblätter der Preußischen Landesaufnahme, die einen Großteil des Regionalverbandes Ruhrgebiet abdecken und im Jahr 1892 entstanden sind, wurden als Bilddateien bereitgestellt und anschließend im GIS georeferenziert. Nach der Georeferenzierung begann die Digitalisierung von Höheninformationen auf einem einzelnen Kartenblatt. Dazu wurden alle Höhenlinien sowie -punkte in Punkt-Shape-Dateien überführt. Die Digitalisierung erfolgte am Bildschirm in einem Maßstab von 1:3.000, der Abstand der digitalisierten Punkte auf den Höhenlinien betrug je nach Reliefcharakteristik etwa zwischen 10 und 50 m (s. Abb. 1). Pro Kartenblatt wurden im Mittel 53.454 Punkte, auf allen 22 Kartenblättern insgesamt 1.175.996 Punkte digitalisiert.

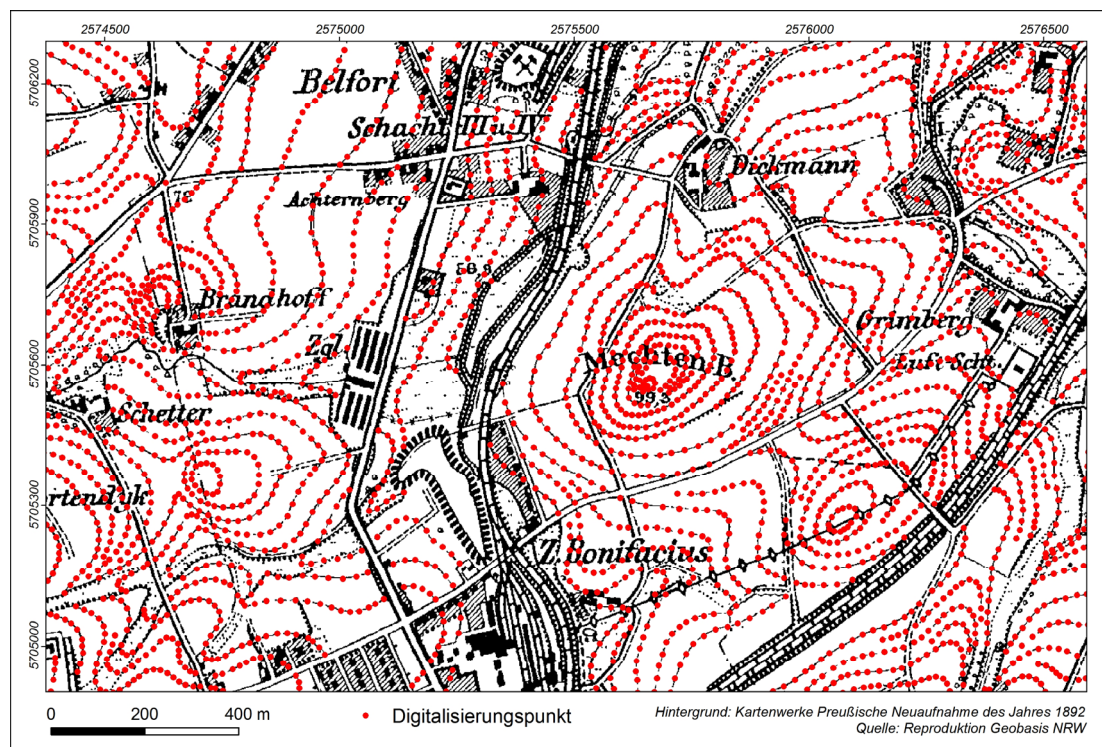


Abb. 1: Ausschnitt der Preußischen Landesaufnahme Blatt Essen (TK 4508) mit digitalisierten Höhenlinien und -punkten

Im Anschluss an die Digitalisierung wurden die ungleichmäßig auf der Kartenfläche verteilten Punktinformationen zur Interpolation eines flächendeckenden Zellrasters mit einer Auflösung von 10 m genutzt. Zur Anwendung kam das geostatistische Verfahren der Kriging-

Interpolation. Als Datenquelle für die aktuellen Höhen im Ruhrgebiet diente das aus Laser-scanbefliegungen abgeleitete Digitale Geländemodell mit einem Punktabstand von 10 m (DGM 10). Es wurde in ArcGIS ebenfalls zu einem Zellraster mit einer Auflösung von 10 m umgewandelt.

Nach Abschluss dieser Vorarbeiten lagen für jedes Kartenblatt im Blattschnitt der Topographischen Karte 1:25.000 zwei Zellraster mit historischen bzw. aktuellen Höheninformationen in einer Auflösung von 10 m vor. Schließlich wurden die beiden Zellraster zu einem Differenzmodell verschnitten, um Höhenänderungen zwischen dem Jahr 1892 und der heutigen Geländeoberfläche quantifizieren und lokalisieren zu können. Es entstanden insgesamt 22 Karten mit den berechneten Höhendifferenzen, die einer weiterführenden Analyse unterzogen werden konnten.

3 Ergebnisse

Zu Beginn sei eine Übersicht der berechneten Höhendifferenzen zwischen dem historischen und aktuellen Geländemodell präsentiert, die aus der Kombination aller 22 bearbeiteten Kartenblätter entstand (s. Abb. 2). Alle Geländebereiche, die im Vergleich zur Situation von 1892 tiefer liegen, sind mit negativen Höhendifferenzen und einer Farbabstufung von gelb über rot bis dunkelrot abgebildet. Solche Flächen, die höher liegen als im Jahre 1892, sind in grüner Farbe dargestellt. Höhendifferenzen zwischen +2 m und -2 m bleiben aufgrund möglicher Fehler bei der Berechnung von Höhendifferenzen ohne farbliche Kennzeichnung.

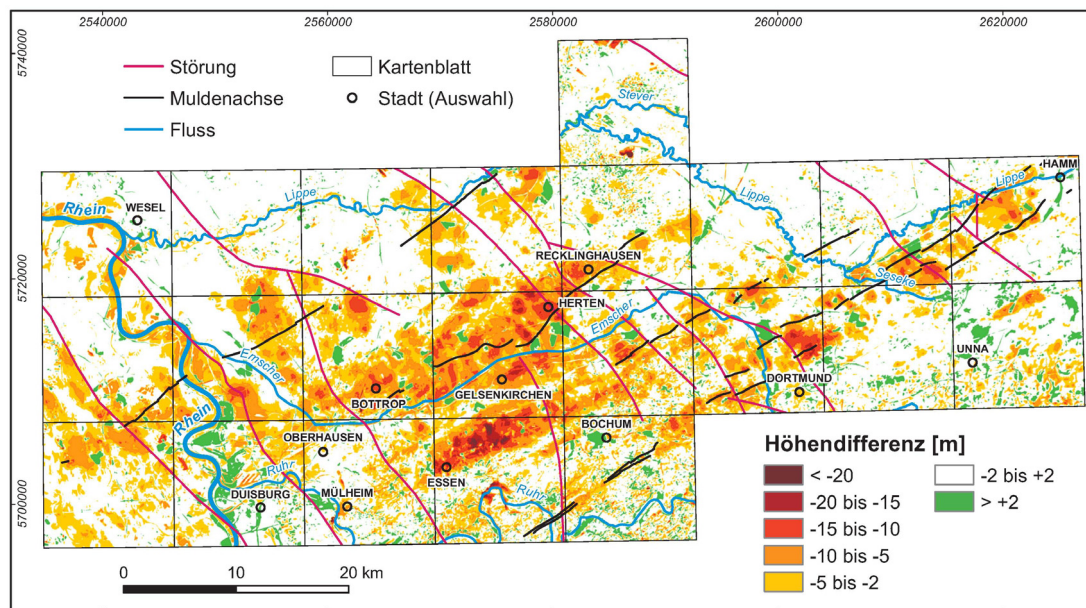


Abb. 2: Übersicht der berechneten Höhendifferenzen im Untersuchungsgebiet

Insgesamt fällt eine Häufung großer Flächen mit Höhendifferenzen von -20 m und mehr im Bereich der zentralen Emscherniederung auf. Besonders auffällig sind Abschnitte zwischen Essen und Gelsenkirchen sowie im Umfeld von Gelsenkirchen und Herten. Weitere, vergleichsweise isoliert auftretende, häufig oval bis kreisrund geformte Flächen mit negativen

Höhendifferenzen sind im Stadtgebiet von Bottrop sowie nördlich davon, am linken Niederrhein, am Nordrand des Ruhrgebiets sowie im Umfeld Dortmunds und nordöstlich davon zu erkennen. Es fällt auf, dass die beschriebenen Bereiche entlang WSW-ONO orientierter Linien verlaufen und offensichtlich der Raumrichtung geologischer Strukturen folgen. Tatsächlich zeigen die Achsen der großen geologischen Hauptmulden im Steinkohlengebirge die gleiche Orientierung, auch als variskisches Streichen bezeichnet (GRABERT 1998). Dies legt die Vermutung nahe, dass die identifizierten Flächen mit negativen Höhendifferenzen auf den intensiven Abbau von Steinkohle entlang der besonders abbauwürdigen flachen Hauptmulden des Steinkohlengebirges zurückzuführen und demzufolge als Bergsenkungen zu interpretieren sind. Tatsächlich markieren die angesprochenen Bereiche Schwerpunkte der ehemaligen und noch heute aktiven Steinkohleförderung.

Als Beispiel für eine Ergebnisdarstellung im größeren Maßstab sind in Abb. 3a die berechneten Höhendifferenzen des Kartenblattes Gelsenkirchen dargestellt. Aufgrund seiner Lage im Bereich der Emscher Hauptmulde und der entsprechend intensiven Steinkohleförderung sind flächendeckend negative Höhendifferenzen erkennbar. Auf der benachbarten Karte (Abb. 3b) sind alle Flächen, die im Vergleich zur Geländedeposition im Jahr 1892 tiefer liegen, rot dargestellt, alle Bereiche mit einer höheren Lage sind grün abgebildet. Bei den grünen Flächen handelt es sich überwiegend um Bergehalden.

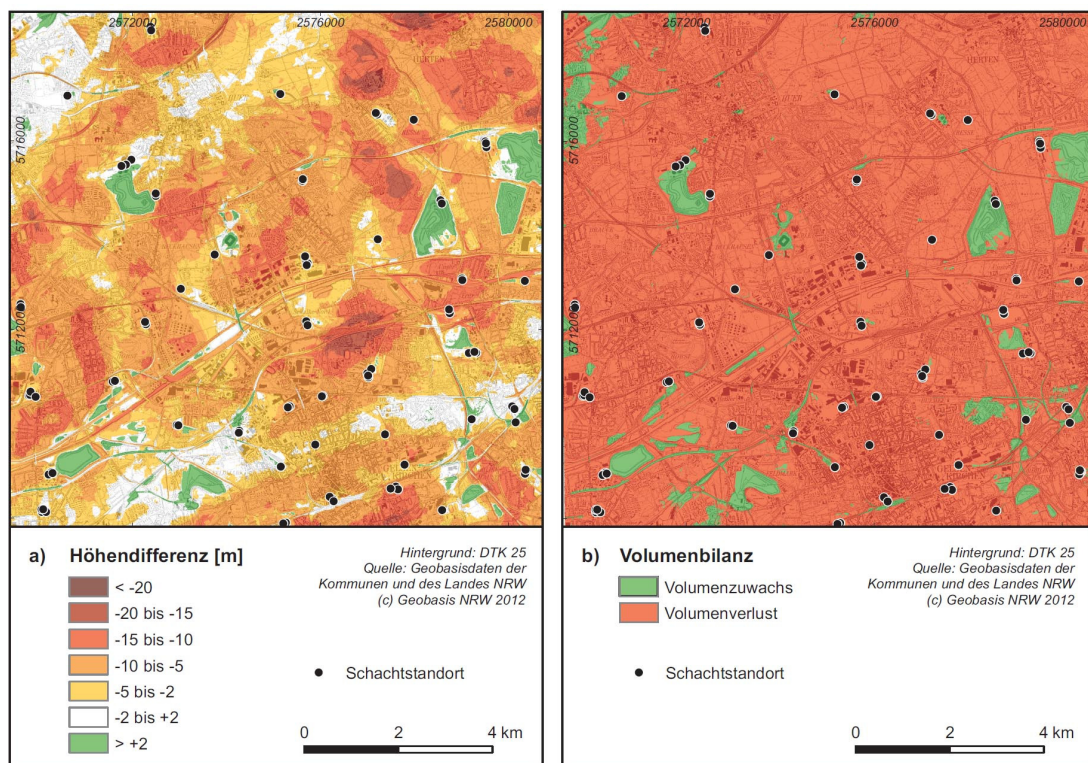


Abb. 3: a) Berechnete Höhendifferenzen, Blatt 4408 Gelsenkirchen
b) Gebiete mit Geländeerhöhung bzw. -absenkung, Blatt 4408 Gelsenkirchen

Insgesamt liegen fast 93 % der Kartenfläche (128,5 km²) tiefer als noch im Jahr 1892, nur 7 % haben eine Erhöhung erfahren. Berechnet man das Differenzvolumen zwischen der ehemaligen und heutigen Geländeoberfläche, ist ein v. a. bergsenkungsbedingtes Verlustvolumen

von $-0,777 \text{ km}^3$ festzustellen. Das zum Großteil auf Bergehalden zurückzuführende Füllvolumen beläuft sich auf lediglich $0,113 \text{ km}^3$. Nach Bilanzierung beider Volumina verbleibt ein Nettoverlustvolumen von $-0,664 \text{ km}^3$. Unter Berücksichtigung der gesamten Kartenfläche von $128,5 \text{ km}^2$ lässt sich eine Nettohöhendifferenz von $-5,16 \text{ m}$ ($= -0,664 \text{ km}^3 / 128,5 \text{ km}^2$) berechnen. Zur Veranschaulichung des Ausmaßes einer derart dimensionierten Geländeabsenkung diene der folgende Vergleich: Insgesamt 18.000 Fußballfelder mit einer Kantenlänge von $105 \times 68 \text{ m}$ müssten nebeneinander liegend etwa um die Höhe eines zweigeschossigen Gebäudes abgesenkt werden, um die Verhältnisse auf dem Kartenblatt Gelsenkirchen widerzuspiegeln.

Eine Möglichkeit der Validierung und Plausibilitätskontrolle berechneter Höhendifferenzen ist für ausgewählte Punkte unter Berücksichtigung des sog. Leitnivellements möglich, das in kurzen Zeitabständen durchgeführt wird, um Änderungen des Höhenfestpunktfeldes in den Bergbaugebieten zu überwachen (HAUPT 1999). Von besonderem Wert sind 11 Nivellementpunkte, deren Erstvermessung bis auf das Jahr 1895 zurückgeht. Ein Vergleich der im Jahre 1895 vermessenen Höhen mit den aus Karten der Preußischen Landesaufnahme interpolierten Höhen des Jahres 1892 führte zu einem erstaunlichen Ergebnis: Insgesamt weichen die vermessenen Höhen von zehn Nivellementpunkten um maximal nur $0,9 \text{ m}$ von den interpolierten Höhen ab.

Zur Fehlerbetrachtung berechneter Höhendifferenzen wurde auf publizierte empirische Gesetzmäßigkeiten zu mittleren Höhenlinienfehlern in Karten der Preußischen Landesaufnahme sowie eigene Untersuchungen zurückgegriffen. Zusammen mit digitalisierungs- sowie georeferenzierungsbedingten Fehlern war die Berechnung eines Höhenfehlers möglich, dessen Größe von den Geländeneigungen und der Dichte historischer Höheninformationen abhängt. Für die überwiegend flachen, vom Tiefbau in der Steinkohlenförderung betroffenen Areale der Hellwegzone, Emscherniederung, des Lippetals und Niederrheins sind die berechneten Höhendifferenzen zum Großteil mit Fehlern zwischen $\pm 1 \text{ m}$ und $\pm 2 \text{ m}$ behaftet.

4 Fazit

Auf Basis von insgesamt 22 Kartenblättern der Preußischen Landesaufnahme aus dem Jahre 1892 im Maßstab 1:25.000 wurden sämtliche Höhenlinien und -punkte in einem GIS digitalisiert, um anschließend ein Geländemodell der historischen Höhen als Zellraster mit einer Auflösung von 10 m zu interpolieren. Es folgte die Berechnung von Höhendifferenzen zwischen dem historischen und aktuellen Geländemodell, so dass erstmals flächendeckend und großmaßstäbig Informationen zu Veränderungen der Geländehöhen zwischen dem Jahre 1892 und heute für das vom Steinkohlenbergbau beeinflusste Ruhrgebiet vorliegen.

Die berechneten Höhendifferenzen ermöglichen eine Detektion von Bergsenkungsgebieten auch dort, wo die üblichen Geländebefunde wie vernässte Stellen, Mulden oder gar Bergsenkungsseen versagen würden. Tatsächlich können auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten zahlreiche Vollformen wie Rücken oder Kuppen als Bergsenkungsgebiete identifiziert werden, ohne dass man sie als solche im Gelände wahrnehmen würde. Beispielhaft genannt sei die Erhebung des Mechtenbergs am Nordrand des Blattes Essen, der infolge des Steinkohleabbaus im Bereich der Zeche Zollverein eine Absenkung von etwa 20 m erfahren hat (s. Abb. 4).

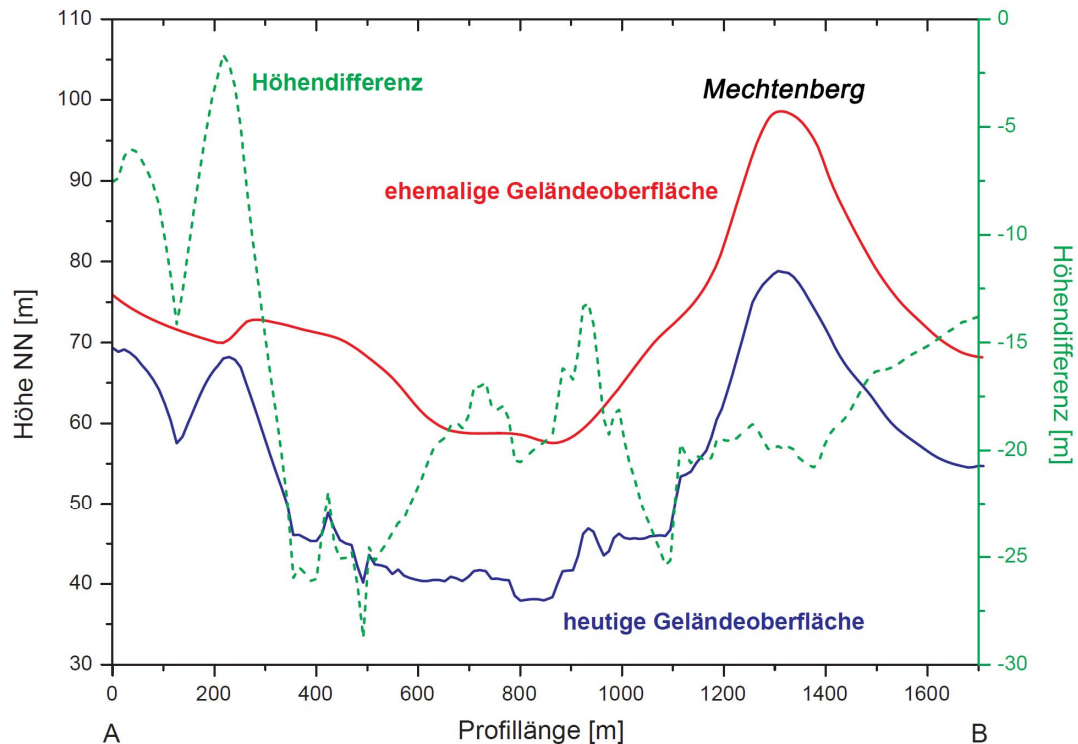


Abb. 4: Profilschnitt für einen Ausschnitt des Essener Stadtgebietes mit der ehemaligen und heutigen Geländeoberfläche sowie den berechneten Höhendifferenzen

Das Geographische Informationssystem ermöglicht darüber hinaus eine flächendeckende Bilanzierung der Höhenänderungen, in dem für einen beliebigen Raumausschnitt alle erhöhten Areale – überwiegend Bergehalden – zu den abgesunkenen Gebieten – v. a. Bergsenkungen – in Beziehungen gesetzt werden. Somit ist eine Berechnung von Nettohöhendifferenzen möglich, die sämtliche, überwiegend bergbaubedingten Höhenänderungen einbezieht. Im Vergleich zeigt Abb. 5 die berechneten Nettohöhendifferenzen aller bisher bearbeiteten Kartenblätter sowie des gesamten Untersuchungsgebietes (Größe: 2.827 km²), dessen Nettohöhendifferenz -1,55 m beträgt.

Eine Validierung und Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse mit Hilfe ausgewählter Punkte des Leitnivellements zeigt eine erstaunlich gute Übereinstimmung berechneter und vermessener Höhendifferenzen mit Abweichungen, die fast ausschließlich kleiner als 1 m sind. Nach eigenen Untersuchungen nehmen die Höhenfehler auf Kartenblättern der Preußischen Landesaufnahme in einem Großteil des bergsenkungsbeeinflussten Ruhrgebiets Werte zwischen ± 1 und ± 2 m an. Die berechneten Höhendifferenzen erlauben demnach belastbare Aussagen, solange keine Genauigkeiten im Submeterbereich verlangt werden.

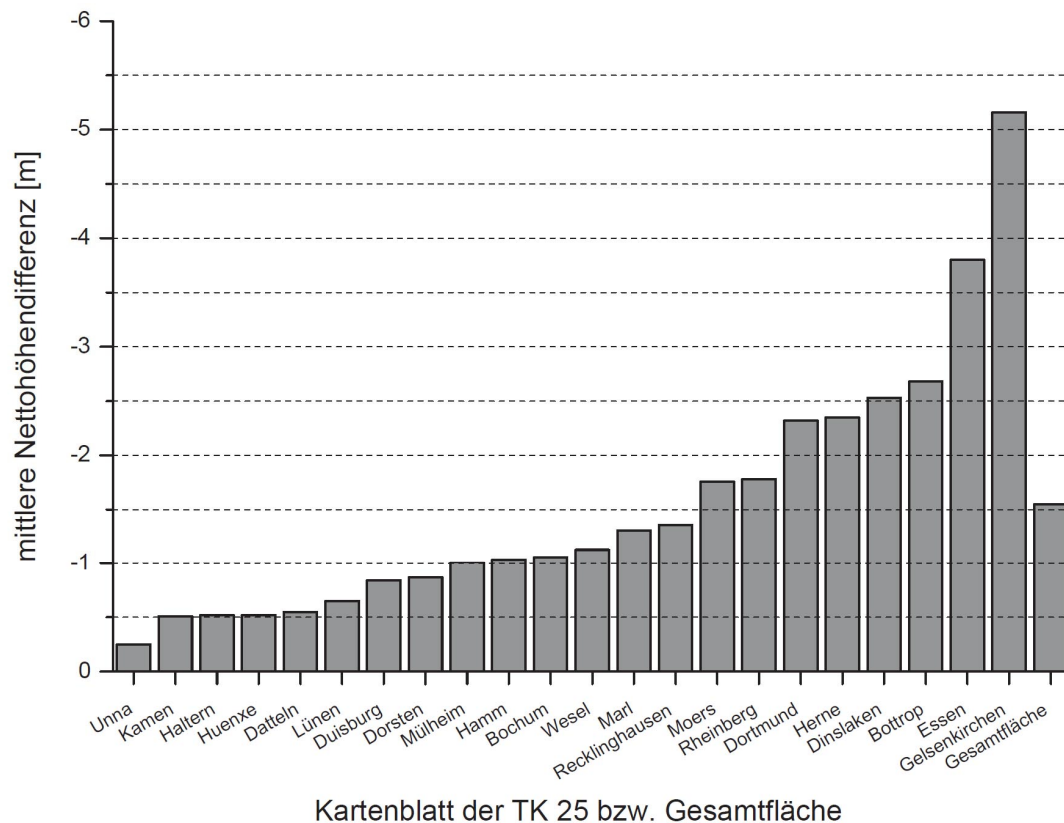


Abb. 5: Vergleich der berechneten Netzhöhendifferenzen aller untersuchten Blätter der Topographischen Karte im Maßstab 1:25.000

Literatur

- GRABERT, H. (1998): Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- HARNISCHMACHER, S. (2012): Bergsenkungen im Ruhrgebiet – Ausmaß und Bilanzierung anthropogeomorphologischer Reliefveränderungen, Selbstverlag der Deutschen Akademie für Landeskunde, Leipzig.
- HAUPT, P. (1999): Leitnivelements in den Bergbaugebieten Nordrhein-Westfalens - Periodische Wiederholungsnivelements mit 100-jähriger Geschichte, Vermessungswesen und Raumordnung 61, S. 436-444.
- HELD, T. & J. HERGET (2005): Umgestaltung von Flüssen. Emscher und Lippe als Beispiel, Geographie und Schule 27, S. 12-19.
- KRAUSS, G. (1969): 150 Jahre Preußische Meßtischblätter, Zeitschrift für Vermessungswesen 94, S. 125-135.
- PETERS, R. (Hrsg.) (1999): 100 Jahre Wasserwirtschaft im Revier. Die Emschergenossenschaft 1899-1999, Verlag Peter Pomp, Bottrop, Essen.
- SZELAG, S. & U. WEBER (1993): Bergsenkung. In: Wiggering, H. (Hrsg.), Steinkohlenbergbau - Steinkohle als Grundstoff, Energieträger und Umweltfaktor, S. 121-136, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.



Kontakt:

PD Dr. Stefan Harnischmacher

Philipps-Universität Marburg

Fachbereich Geographie

Deutschhausstr. 10

35032 Marburg

Tel.: 06421/ 28 25917

Fax: 06421/ 28 28950

E-Mail:

stefan.harnischmacher@geo.uni-marburg.de

Jahrgang: 1969

1990-1996

Studium der Geographie, Volkswirtschaftslehre, Geologie, Angewandten Geologie (Hydrogeologie, Ingenieurgeologie), Wasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum

1996

Diplom

1996-2002

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum

2002

Promotion

2002-2007

Wissenschaftlicher Assistent am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum

2007-2011

Lehrkraft für besondere Aufgaben am Institut für Integrierte Naturwissenschaften der Universität Koblenz-Landau (Campus Koblenz)

2011

Habilitation

seit 2011

Lehrkraft für besondere Aufgaben am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg

Die räumliche und zeitliche Variabilität von fluvialen Sedimenttransport in Hochgebirgs- einzugsgebieten

David Morche

1 Einleitung

Die Kenntnis über die Sediment liefernden Prozesse in den Hochgebirgseinzugsgebieten wird für das Sedimentmanagement (vor)alpiner Gewässer in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen. Detaillierte Untersuchungen sind dort aber bisher nur sehr vereinzelt durchgeführt worden (BECHT & WETZEL 1989, SCHMIDT & MORCHE 2006, WETZEL 1992, WEISS 1996). Die Quantifizierung des fluvialen Sedimenttransports als Exportgröße aus den Hochgebirgen steht im Mittelpunkt der seit dem Jahr 2000 in verschiedenen kleineren alpinen Einzugsgebieten des Donaugebiets durchgeführten Untersuchungen. Diese sind als Grundlagenforschungsprojekte angelegt, können aber einen wichtigen Beitrag für das Sedimentmanagement alpiner Fließgewässer liefern. Der fluviale Sedimenttransport in Hochgebirgsfließgewässern ist stark angebotsgesteuert und selten kontinuierlich. Oft liefern nicht alle vorhandenen Sedimentquellen gleichzeitig Material in die Fließgewässer. Diese räumliche und zeitliche Variabilität macht die Erfassung der steuernden Prozesse schwierig bzw. die Datenerhebung im Gelände nötig.

2 Untersuchungsgebiete

Im vorliegenden Beitrag werden ausgewählte Ergebnisse aus Untersuchungen vorgestellt, die in den nördlichen Kalkalpen durchgeführt wurden, aber auch in den Öztaler Alpen derzeit laufen.

2.1 Das Reintal

Das Reintal liegt ca. 80 km südlich von München bei Garmisch-Partenkirchen im Wettersteingebirge (Abb. 1). Es ist als W-O-streichende geologische Mulde nahezu komplett im triassischen Wettersteinkalk angelegt (Tabelle 1). Dieses Karstgebiet wird durch die am Partnach-Ursprung entspringende Partnach nach Osten hin entwässert. Die Partnach ist der Loisach tributär. Die Durchgängigkeit des Bachlaufs der Partnach wird im Reintal durch Bergsturzablagerungen unterbrochen. Oberhalb dieser natürlichen Dämme waren kleine Seen ausgebildet, wenn das Karstwassersystem gut gefüllt war. Diese Seen fungierten als Sedimentsenken für Grobmaterial und wurden sukzessive mit Lockermaterial gefüllt (Abb. 1B,

MORCHE et al. 2008). Durch diese besondere Geländekonfiguration ergeben sich für das Reintal unterschiedlich große Einzugsgebiete für Lösungsfracht (27 km^2), Schwebfracht ($17,3 \text{ km}^2$) und Geschiebefracht (Abb. 1).

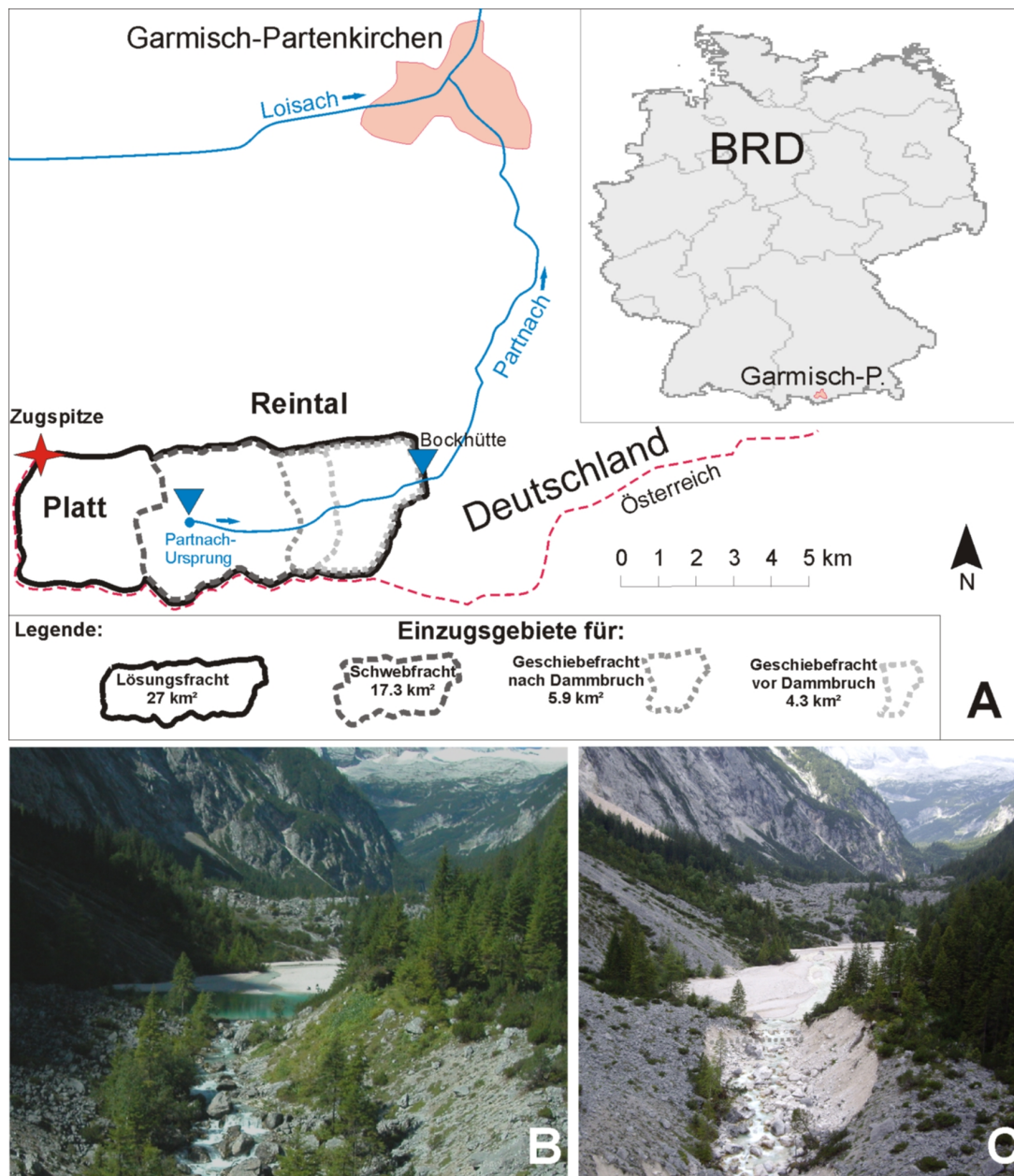


Abb. 1: Die Lage des Reintals mit den betriebenen Hilfspegeln am Partnach-Ursprung sowie an der Bockhütte und die Einzugsgebiete der einzelnen Flussfrachtkomponenten (A), der Bergsturzdamm und der kleine See „Vordere Blaue Gumpe“ vor (B) und nach (C) dem Hochwasser vom August 2005 (verändert nach MORCHE & SCHMIDT 2012)

Am 22./23. August 2005 kam es zu einem extremen Hochwasserereignis im Reintal (MORCHE et al. 2007). Dabei wurde der unterste See „Vordere Blaue Gumpe“ abrupt mit Sediment verfüllt und die Bergsturzdammkrone durchbrochen (Abb. 1C). Damit wurde auch das Einzugsgebiet für die Geschiebefracht um etwa ein Drittel vergrößert (Abb. 1A).

2.2 Das Kaunertal

Das Kaunertal liegt in den Öztaler Alpen (Abb. 2), die als Teil der Zentralalpen von metamorphen Gesteinen (Orthogneise, Paragneise) geprägt werden. Zudem durchziehen widerstandsfähige Amphibolitzüge das Gebiet. Ein Teil der südlichen Einzugsgebietsgrenze verläuft direkt auf der europäischen Hauptwasserscheide. Große Teile des Einzugsgebietes oberhalb des Pegels Gepatschalm sind vergletschert (Gepatschferner, Weißseeferner) (Tabelle 1). Die Fagge entspringt am Gepatschferner. Ihr größter Zufluss im Untersuchungsgebiet, der Riffler Bach, wird zum großen Teil durch den Weißseeferner gespeist. Im Kaunertal wird die Fagge im Gepatschstausee gestaut. Mit der Mündung der Fagge in den Stausee endet das Untersuchungsgebiet. Es hat eine Fläche von 62,5 km². Das Einzugsgebiet des Pegels Gepatschalm ist mit 55 km² etwas kleiner.

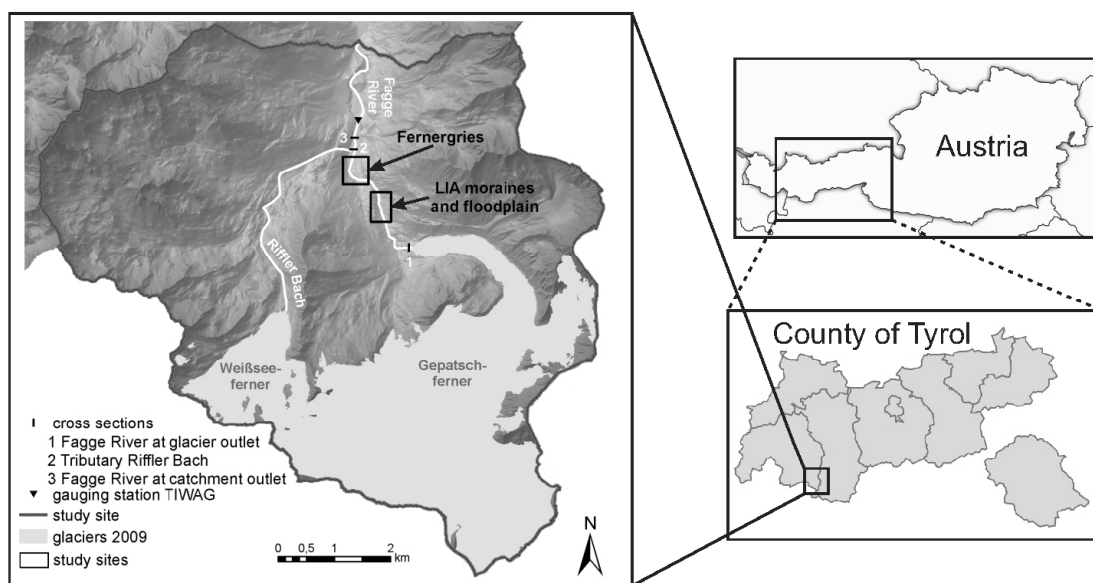


Abb. 2: Die Lage des Untersuchungsgebiets, der Messstationen und Detailuntersuchungsflächen (aus MORCHE et al. 2012)

Die Gletscherzunge des Gepatschfernern hat sich seit ihrem 1850er Maximalstand (LIA - Little Ice Age) um mehr als 2 km zurückgezogen (HECKMANN et al. 2012). Nach dem Abschmelzen des Eises bleiben große Lockermaterialdepots (Moränen, glazifluviale Schotter) zurück, die als Feststoffherde für die Fagge dienen. Erst Jahrzehnte nach dem Eisfreiwerden werden diese Sedimentspeicher durch Vegetation einigermaßen stabilisiert, können aber durch z. B. Muren jederzeit wieder aktiviert werden. Im direkten Gletschervorfeld ist eine hohe Morphodynamik zu verzeichnen. Bisher fehlen zu den dort ablaufenden Sedimenttransportprozessen detaillierte Studien. Daher werden seit 2011 im Rahmen eines DFG/FWF-geförderten Forschungsprojekts diese Prozesse im Kaunertal erforscht und die Transportraten quantifiziert (<http://www.ku.de/mgf/geographie/prosa>).

Tabelle 1

Ausgewählte physisch-geographische Eigenschaften der Untersuchungsgebiete

Untersuchungsgebiet	Reintal	Kaunertal
Teil der Alpen	Wettersteingebirge/Nördliche Kalkalpen	Öztaler Alpen/Zentralalpen
Fläche (km ²)	27	55 (62,5 Gepatschstausee)
Lithologie	Wettersteinkalk	Paragneise, Orthogneise, Amphibolite
Niederschlag (mm/a)	2000	800
Fließgewässer	Partnach	Fagge
Pegel	Bockhütte	Gepatschalm
min. Höhe (m ü. NN)	1050	1895 (1759 Gepatschstausee)
max. Höhe (m ü. NN)	2962 (Zugspitze)	3535 (Hochvernagtspitze)
Reliefunterschied (m)	1912	1640 (1776)
Gletscher (km ²)	0,2 (Schneeferner)	22 (Gepatsch- u. Weißseeferner)

3 Methodik

Im Reintal wurde an der Partnach ein Hilfspegel nahe der Bockhütte eingerichtet. An dieser Messstation wurde neben dem Wasserstand auch die elektrische Leitfähigkeit aufgezeichnet. Zudem wurden bei verschiedenen Wasserständen Abflussmessungen (Kleinflügel, Nautilus) und Geschiebemessungen (Helley-Smith-Sammler) durchgeführt. Automatisch und manuell entnommene Wasserproben wurden im Labor hinsichtlich der Schwebstoff- und Ionenkonzentrationen durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Methodik ist in SCHMIDT & MORCHE (2006), MORCHE et al. (2008) und MORCHE & SCHMIDT (2012) zu finden. Das Untersuchungsdesign im Kaunertal orientiert sich stark an der dort beschriebenen Vorgehensweise. Zudem stehen mit dem von der TIWAG betriebenen Pegel „Gepatschalm“ offizielle Daten für Abfluss und Schwebstofftransport zur Verfügung. Eine direkte Messung des Geschiebetransports ist an diesem Pegel nicht möglich. Eine Quantifizierung des Feststoffaustrags kann durch die wiederholte Vermessung der Oberfläche des Deltas im Gepatschstausee, der unmittelbar unterhalb des Pegels liegt, erfolgen. Dafür wird der Deltabereich mit einem terrestrischen Laserscanner hochaufgelöst erfasst, wenn der Wasserstand des Stausees um ca. 40 m gesenkt wird und die Schneebedeckung abgeschmolzen ist. Der Sedimenttransfer innerhalb der Gebiete wird durch eine methodische Kombination von terrestrischem und helikoptergestütztem Laserscanning auf verschiedenen Skalen quantifiziert (HECKMANN et al. 2012). Dabei werden die aus der Luft durchgeführten Scans für das gesamte Einzugsgebiet mit einer Punktdichte mit bis zu 10 Punkten pro m² zwei Mal pro Jahr durchgeführt. Die terrestrischen Aufnahmen konzentrieren sich dann auf einzelne Testflächen mit z. T. hoher Morphodynamik. Diese Bereiche werden mit wenigen Zentimeter Auflösung mindestens einmal pro Jahr, im Ereignisfall auch häufiger, erfasst.

4 Ergebnisse

Der fluviale Stoffaustrag, insbesondere der Geschiebetransport aus dem Reintal war zwischen 2001 und 2011 hoch variabel und großen Schwankungen unterworfen. In Abb. 3 sind die mittleren Tagesspenden der Partnach für die Messstation Bockhütte im Reintal für die Geschiebe-, Schweb- und Lösungsfracht dargestellt. In den Jahren 2001-2005 war die Lösungsfracht die dominierende Transportkomponente. Schwebstofffracht und Geschiebefracht spielten nur eine untergeordnete Rolle. In den Jahren 2006-2008 stieg dann die Geschiebefracht sprunghaft an. Schwebstofffracht, wenn sie gemessen werden konnte, und die Lösungsfracht lagen in den Jahren ab 2006 im gleichen Wertebereich wie in den Jahren zuvor. Durch das Hochwasserereignis im August 2005 kam es zu diesen bedeutenden Veränderungen im Reintal und auch im Transportregime der Partnach (MORCHE & SCHMIDT 2012). Zahlreiche neu geschaffene Sedimentablagerungen im Ufer- aber auch Sohlbereich der Partnach lieferten nach 2005 ebenso verstärkt Feststoffmaterial wie große Uferabbrüche an den bachnahen Schutthalden und -kegeln (BIMBÖSE et al. 2011)

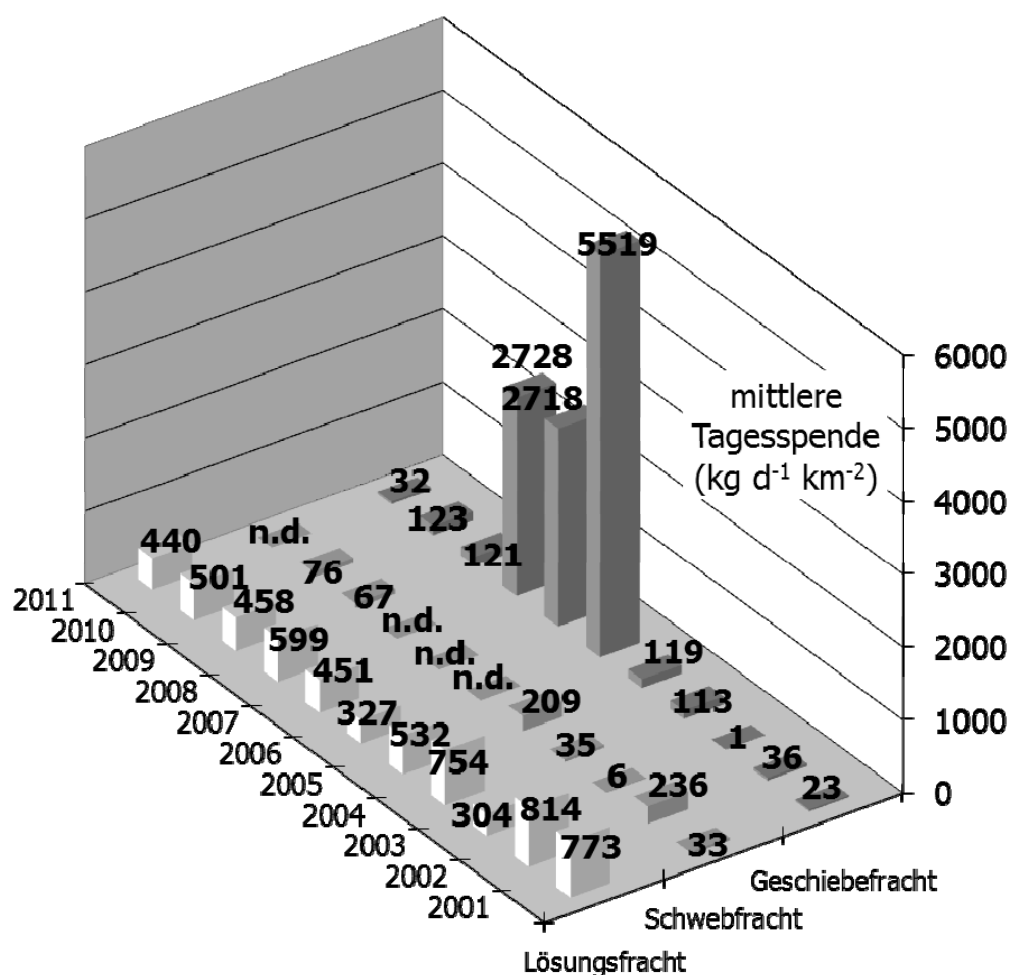


Abb. 3: Die mittleren Tagesspenden der Partnach für die Messstation Bockhütte im Reintal für die Geschiebe-, Schweb- und Lösungsfracht in den Jahren 2001-2011 (ergänzt nach MORCHE & SCHMIDT 2012). Die Schwebfracht wurde in den Jahren 2006-2008 und 2011 nicht gemessen.

Im Kaunertal kam es am 22./23. August 2011 nach einem Gewitter zu einem kurzen Hochwasser. Der Spitzenabfluss am Pegel Gepatschalm lag mit $57,7 \text{ m}^3/\text{s}$ nur knapp unter dem HHQ von 1987 (MORCHE et al. 2012). Im Bachverlauf der Fagge im Gletschervorfeld des Gepatschferners kam es dadurch zu bedeutenden Laufverlagerungen (Abb. 4), die auf verstärkten Grobmaterialtransport in der Fagge hindeuten.

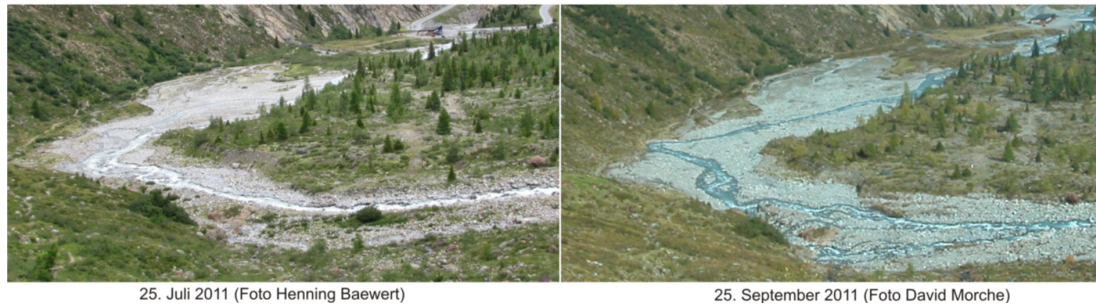


Abb. 4: Gerinnelaufverlagerung der Fagge im Sommer 2011 im Bereich Fernergries (Lage siehe Abb. 2).

Erste Ergebnisse von terrestrischen Laserscanaufnahmen aus dem Jahr 2012 zeigen, dass z. T. große Mengen an Lockermaterial im Bachverlauf gespeichert werden (Abb. 5). So wurden auf einer kleineren ca. 300 m langen nahezu ebenen Griesfläche zwischen Juli und September 2012 etwa 7800 m^3 Sediment, v. a. Grobmaterial, abgelagert. Zurückzuführen ist der verstärkte fluviale Sedimenttransport vorwiegend auf ein extremes Hochwasser Ende August 2012. Die Griesflächen fungieren also offenbar als Zwischenspeicher für den fluvialen Sedimenttransport und können später bei weiteren Hochwasserereignissen das Material wieder zur Verfügung stellen. Die Untersuchungen werden in den nächsten Jahren fortgesetzt und intensiviert (HECKMANN et al. 2012, MORCHE et al. 2012).

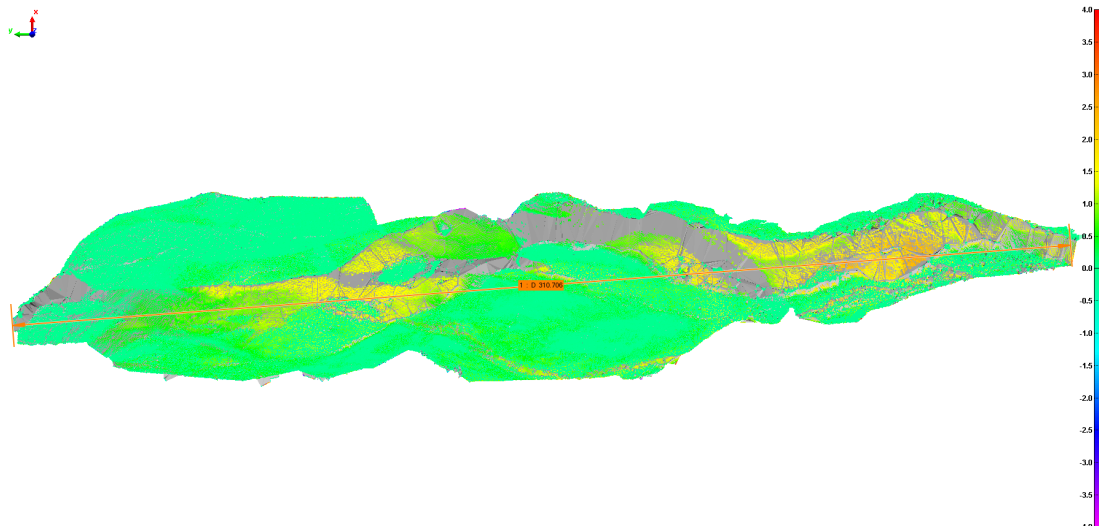


Abb. 5: Die Oberflächenveränderung eines etwa 300 m langen Zwischenspeichers in der Fagge oberhalb des Fernergries zwischen Juni und September 2012 mit einer Nettoakkumulation von 7800 m^3 , Fließrichtung von rechts nach links (verändert nach BAEWERT & MORCHE (in prep.))

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass in Hochgebirgseinzugsgebieten die Kopplung zwischen Hang- und Gerinnesystemen sowie die Durchgängigkeit im System wesentliche Steuerungsfaktoren für den fluvialen Sedimenttransport sind. Darüber hinaus sind hydrologische Extremereignisse sehr bedeutend beim Feststofftransport in den Systemen und beim Feststoffexport über die Einzugsgebietsgrenzen hinaus. Vor dem Hintergrund der aktuell im Fokus stehenden Diskussion zu Sedimentdurchgängigkeit im Rahmen von Sedimentmanagementproblemen können die hier beispielhaft vorgestellten Grundlagenforschungsansätze und Ergebnisse einen wichtigen Beitrag liefern.

Literatur

- BAEWERT, H., D. MORCHE (in prep.): Coarse sediment dynamics in a proglacial fluvial system (Fagge River, Tyrol). *Geomorphology*
- BECHT, M., K. F. WETZEL (1989): Dynamik des Feststoffaustrages kleiner Wildbäche in den Bayerischen Kalkvorallen. *Göttinger Geographische Abhandlungen* 86, 45-52
- BIMBÖSE, M., A. NICOLAY, K.-H. SCHMIDT, A. BRYK, D. MORCHE (2011): Investigations on intra- and interannual coarse sediment dynamics in a high-mountain catchment. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 55 Supplementary Issue 2, 67-81. DOI:10.1127/0372-8854/2011/0055S2-0046
- HECKMANN, T., F. HAAS, D. MORCHE, K.-H. SCHMIDT, J. ROHN, M. MOSER, M. LEOPOLD, M. KUHN, C. BRIESE, N. PFEIFFER, M. BECHT (2012): Investigating an alpine proglacial sediment budget using field measurements, airborne and terrestrial LiDAR data. *IAHS Press, Wallingford IAHS Publ.* 356, 438-447
- MORCHE, D., F. HAAS, H. BAEWERT, T. HECKMANN, K.-H. SCHMIDT, M. BECHT (2012): Sediment transport in the proglacial Fagge River (Kaunertal/Austria). *IAHS Press, Wallingford IAHS Publ.* 356, 72-80
- MORCHE, D., K.-H. SCHMIDT, T. HECKMANN, F. HAAS (2007): Hydrology and geomorphic effects of a high magnitude flood in an Alpine river. *Geografiska Annaler A* 89 (1), 5-19. DOI:10.1111/j.1468-0459.2007.00304.x
- MORCHE, D., M. WITZSCHE, K.-H. SCHMIDT (2008): Hydrogeomorphological characteristics and sediment transport of a high mountain river (Partnach River, Reintal Valley, Bavarian Alps, Germany) *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 52 Supplementary Issue 1, 51-77. DOI:10.1127/0372-8854/2008/0052S1-0051
- MORCHE, D., K.-H. SCHMIDT (2012): Sediment transport in an alpine river before and after a dambreak flood event. *Earth Surface Processes and Landforms* 37, 347-353. DOI: 10.1002/esp.2263
- SCHMIDT, K.-H., D. MORCHE (2006): Sediment output and effective discharge in two small high mountain catchments in the Bavarian Alps, Germany. *Geomorphology* 80, 131-145. DOI:10.1016/j.geomorph.2005.09.01
- WEISS, F. H. (1996): Sediment monitoring, long-term loads, balances and management strategies in southern Bavaria. *IAHS Press, Wallingford IAHS Publ.* 236, 575-582
- Wetzel, K.-F. (1992): Abtragsprozesse an Hängen und Feststoffführung der Gewässer. Dargestellt am Beispiel der pleistozänen Lockergesteine des Lainbachgebietes. - *Münchener Geographische Abhandlungen B* 17, 176 S.



Kontakt:

Dr. David Morche

Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg

Institut für Geowissenschaften
und Geographie

Von-Seckendorff-Platz 4

06120 Halle

Tel.: 0345/ 55 26 028

Fax: 0345/ 55 27 175

E-Mail:

david.morche [at] geo.uni-halle.de

Jahrgang: 1976

1996-2002

Studium Geographie, Geologie, Japanologie an der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

seit 2003

Wissenschaftlicher Angestellter der Martin-Luther-
Universität Halle-Wittenberg

Projektbearbeitung:

2000-2006: SEDAG-Sedimentkaskaden in alpi-
nen Geosystemen (DFG),
Az. SCHM 472-12/1-3

2007-2013: Extremereignisse (DFG),
Az. SCHM 472-15/1

seit 2011: PROSA- Hochaufgelöste Messungen
der Geomorphodynamik in sich schnell
verändernden proglazialen Systemen
der Alpen (DFG, PAK 736/1),
Az. MO 2068/3-1

Geschiebebewirtschaftung an der Donau; Zugabe von Tracer-Material und Monitoring

Jürgen Schillinger und Jürgen Kellermann

1 Einleitung

Im Streckenabschnitt der Donau zwischen Straubing und Isarmündung sind seit Ende der 1990er-Jahre Veränderungen im Flussregime erkennbar. Durch die Stauerrichtung bei Straubing (1995) kommt es in der Donau zu einer beginnenden Erosion (KELLERMANN 2011, Abb. 1). Aus diesem Grund sind Maßnahmen zur Begrenzung der Erosion erforderlich. Durch das relativ geringe örtliche Gefälle von ca. 0,1 ‰, das für die Sohle mit einem mittleren Korndurchmesser von ca. 11 mm relativ flach ist, ist die Strecke zwischen Straubing und der Isarmündung in besonderer Weise geeignet, durch eine weitere Vergrößerung der Sohle einen erhöhten Widerstand gegen die Strömung zu erreichen. Sie kann damit in einem weiten Abflussbereich stabil gehalten werden. Durch die hiermit verringerte Jahresgeschiebefracht soll die Geschwindigkeit der Sohlerosion verringert werden.

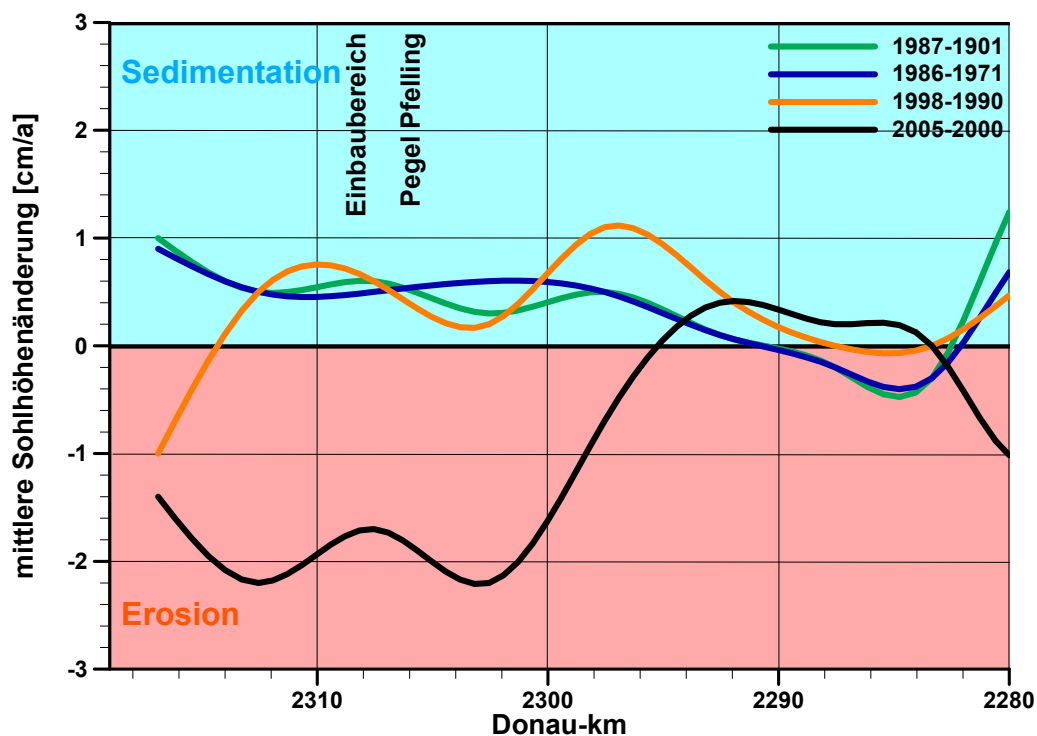


Abb. 1: Mittlere, jährliche Sohlhöhenänderungen an der Donau zwischen Straubing und Isarmündung

Aus ökologischen und schiffahrtlichen Gründen sind die dabei zum Einsatz kommenden Korngrößen aus dem Spektrum des natürlichen Geschiebes zu wählen. Ziel einer solchen Maßnahme ist, eine natürliche Sohlstabilisierung zu unterstützen und dadurch den Unterhaltungsaufwand zu reduzieren. Eine dauerhaft unbewegliche Sohle wird nicht angestrebt.

Eine mögliche Quelle für dieses Zugabematerial könnte das bei Hofkirchen (Do-km 2257) der Donau entnommene Material der sog. "gesteigerten Unterhaltung" sein. Hier fielen Baggermengen in der in Tabelle 1 genannten Größe an. Dieses Material weist einen gegenüber der Strecke Straubing - Isarmündung deutlich höheren Anteil an Grobfraktionen bis 64 mm auf. Dieses ist in der Untersuchungsstrecke ebenfalls der Größtkorndurchmesser des anstehenden Materials.

Tabelle 1
Entnahmemengen bei Hofkirchen

Jahr	1999	2002	2003	2005	2009
Baggermenge [m³/a]	15.000	5.000	37.000	20.000	30.000

Da bezüglich der Sohlstabilität einer solch vergrößerten Sohle, insbesondere unter Schifffahrtseinfluss, nur wenige Informationen vorliegen, wurde im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Regensburg ein Naturversuch durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) konzipiert, in dem diese Fragestellung untersucht wird. Darüber hinaus sollen hierbei wertvolle Informationen zum Transportverhalten unterschiedlicher Korngrößen gewonnen werden, die der Verbesserung der Prognosewerkzeuge dienen.

2 Konzeption des Naturversuchs

Die für Versuche in Frage kommende Strecke Donau-km 2319 bis 2290 teilt sich in einen zunächst kurvigem, etwa sechs Kilometer langen Abschnitt und anschließend in einen eher geradlinigeren etwa 23 Kilometer langen Abschnitt auf. Für den Naturversuch wurde der Kurvenbereich ausgenommen, da Einflüsse der Krümmungen auf den Sedimenttransport ausgeschlossen werden sollten. Im gestreckten Lauf der Donau hat sich der Bereich zwischen Do-km 2308,7 und Do-km 2307,7 als geeignet für den Einbau des Tracermaterials herausgestellt. In diesem Bereich sind noch ausreichend hohe Sohlschubspannungen für den Sedimenttransport vorhanden und die Strecke, in der das wandernde Geschiebe beobachtet werden soll, ist ausreichend lang.

Als Tracermaterial wurde ein Material ausgewählt, das sich in Form und Farbe deutlich vom Sohlmaterial der Donau unterscheidet. Die Mindestkorngröße betrug aus Gründen der Wiederauffindbarkeit 4 mm. Der Größtkorndurchmesser sollte 64 mm nicht überschreiten, um einerseits die in der Sohle vorhandenen Korngrößen abzubilden und andererseits Schäden für die Schifffahrt durch das Ansaugen von Steinen zu vermeiden.

Für den Versuch wurden zwei verschiedene Kornverteilungen verwendet. Eine eng gestufte Sieblinie, um die Sohlstabilität einer abpflasterungsähnlichen Sohle zu überprüfen und eine weiter gestufte, um das Transportverhalten unterschiedlicher Korngrößen bezüglich Transportweiten und -geschwindigkeiten zu erforschen. Die eng gestufte Kornverteilung besteht aus je 50 % der Kornklasse 16-31,5 mm und 31,5-63 mm. Die weitere Kornverteilung besteht aus je 25 % der Kornklasse 4-8, 8-16, 16-31,5 und 31,5-63 mm. Sie sind in Abb. 2 dargestellt.

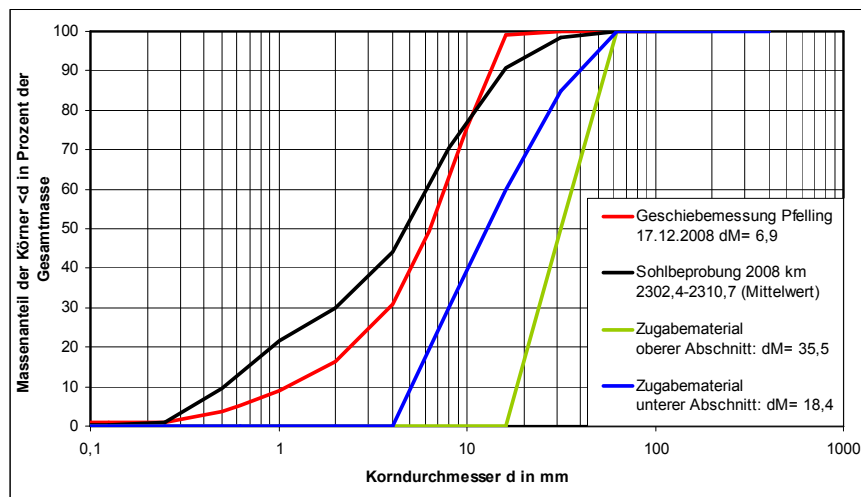


Abb. 2: Kornverteilungskurven der Donau aus Geschiebetransportmessung, Sohlbeprobungen und Tracermaterial

Aus Erfahrungen der BfG am Rhein wurde die Mindestzugabemenge von Tracermaterial zu je 5000 m³ festgelegt. Um den Einfluss auf Strömung und Morphologie in der Donau möglichst gering zu halten, sollte das Material in einer Schicht von ca. 15 cm auf der gesamten transportwirksamen Breite aufgebracht werden. Um die im Projektbereich vorhandene Mindestwassertiefe in der Fahrrinne von 2,0 m nicht zu gefährden, wurden die Bereiche der Fahrrinne, die durch die Zugabe eine geringere Tiefe bei RNW als 2,4 m aufwiesen, ausgespart. Eine Übersicht über den Zugabebereich der Planung zeigt Abb. 3.

Der Einbau des Tracers hat auf die Hochwasserstände keinen wesentlichen Einfluss, zumal durch die bereits eingetretene Sohleintiefung (Der derzeitige Massenverlust der Strecke Straubing - Isarmündung beträgt seit 1998 mehrere 100.000 m³.) ein Wasserspiegelverfall eingesetzt hat (KELLERMANN 2011).

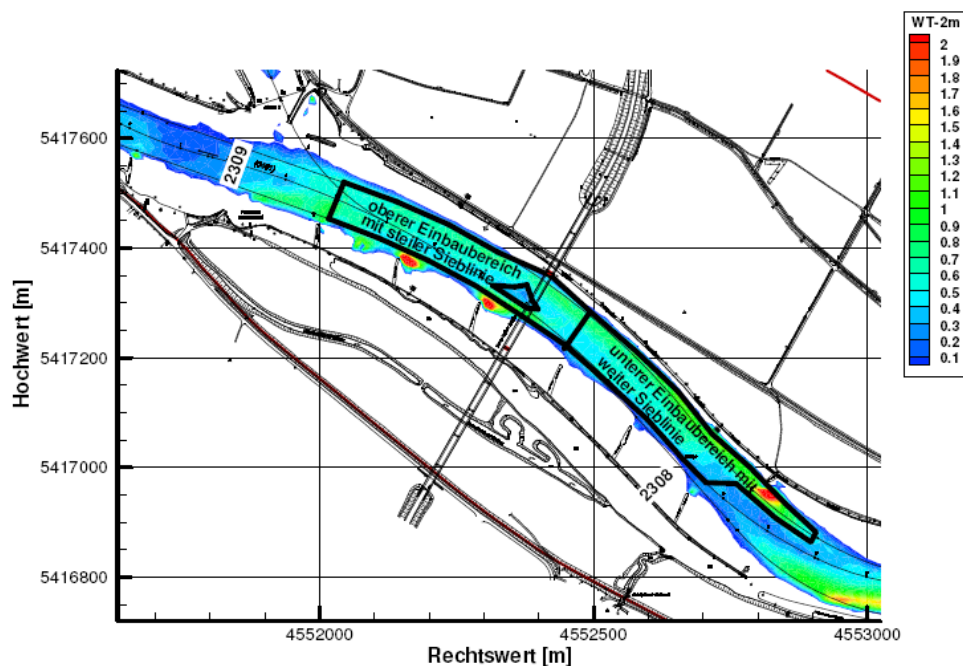


Abb. 3: Übersicht über den Einbaubereich des Tracermaterials mit zur Verfügung stehenden Wassertiefen unter dem Fahrinnenkasten der Planungsphase

3 Monitoringprogramm

Zur Ermittlung der tatsächlichen Transportgeschwindigkeit werden mit Hilfe von Flächenpeilungen des WSA Regensburg regelmäßig die Veränderungen der Sohlhöhen überwacht, was im Hinblick auf die Verkehrssicherungspflicht ohnehin durchgeführt werden muss.

Neben den regelmäßigen Peilungen sind Gefrierplatten-, -kern- und Grabgreiferentnahmen zu verschiedenen Zeiten (nach 3, 6, 12 Monaten und danach einmal jährlich) an verschiedenen Stellen im Bereich der Zugabe und des unterstrom anschließenden Bereichs erforderlich. Die Wahl der Entnahmestellen wird in Abhängigkeit der abgelaufenen Abflüsse festgelegt, um Informationen bzgl. der Transportweiten und Durchmischung des Tracermaterials in der Sohle zu erhalten. Das Material der Sohlproben wird hinsichtlich der Kornzusammensetzung und des Anteils von Tracermaterial untersucht.

Darüber hinaus erfolgen Sedimenttransportmessungen am Pegel Pfelling, Fließgeschwindigkeitsmessungen und gegebenenfalls die Analyse von Baggermaterial aus der Fahrrinnenunterhaltung.

4 Erfahrungen aus dem Einbau

Zu Beginn des Jahres 2011 wurde das Tracermaterial eingebaut. Um beim Einbau die Sohlkontur zu erhalten, wurde der gebrochene Kies mit dem Baggerlöffel eingebracht, was zu einer Bauzeit von fast sechs Wochen führte und in der Durchführung für den ausführenden Unternehmer eine Herausforderung darstellte, die im Rahmen der möglichen Genauigkeiten erfolgreich war (Abb. 4). Die Schifffahrt wurde permanent aufrecht erhalten.

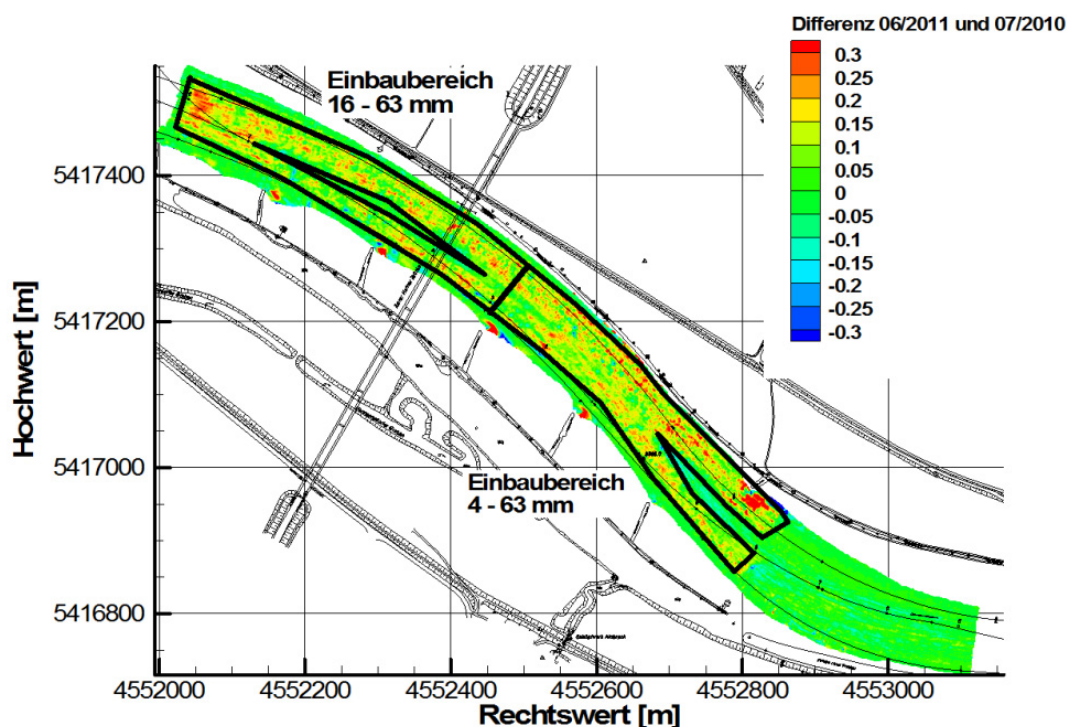


Abb. 4: Differenzen der Sohlhöhen vor und nach Einbau des Tracers

Der Kauf des Kiesel sowie dessen Einbau kosteten jeweils ca. 400.000 Euro. Die Kosten der Gefrierkern- und Gefrierplattenentnahmen belaufen sich bei großem Anteil an Eigenleistung des WSA auf ca. 40.000 Euro pro Jahr. Hinzu kommen noch die Tätigkeiten von BAW (Auswertung der Erhebungsergebnisse) und BfG (Tracerzählung, Auswertung Geschiebetransportmessungen).

Eine erste Beprobung nach Einbau zeigt, dass das Material wie gewünscht auf der Sohle liegt. Abbildung 5 zeigt eine Gefrierkernentnahme im Bereich der Zugabe. Das rechte Ende zeigt die Sohloberfläche, die hier im Wesentlichen aus Tracermaterial besteht (dunkle Steine). Der Rest des Kerns zeigt den Aufbau der Unterschicht bis in eine Tiefe von ca. 40 cm.



Abb. 5: Liegender Gefrierkern mit Tracermaterial rechts direkt nach der Zugabe

5 Erste Ergebnisse

Seit Einbau des Materials sind nur kleinere Hochwasserereignisse aufgetreten. Die Abflussganglinie seit 2008 mit den wesentlichen Eckdaten zum Naturversuch zeigt Abb. 6.

Die Ergebnisse der Beprobung weisen alle auf eine geringe Sohlaktivität hin. Beispielhaft ist dies anhand von Sohlhöhendifferenzen zwischen der Peilung vom November 2011 und April 2012 gezeigt (Abb. 7).

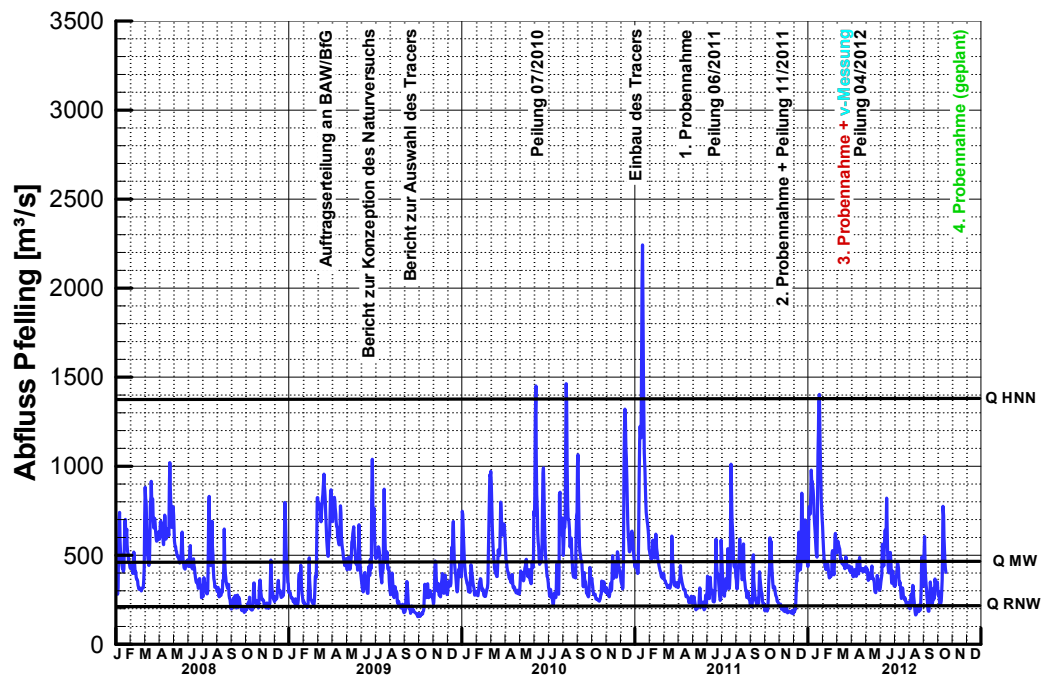


Abb. 6: Abflussganglinie mit wesentlichen Eckdaten zum Naturversuch

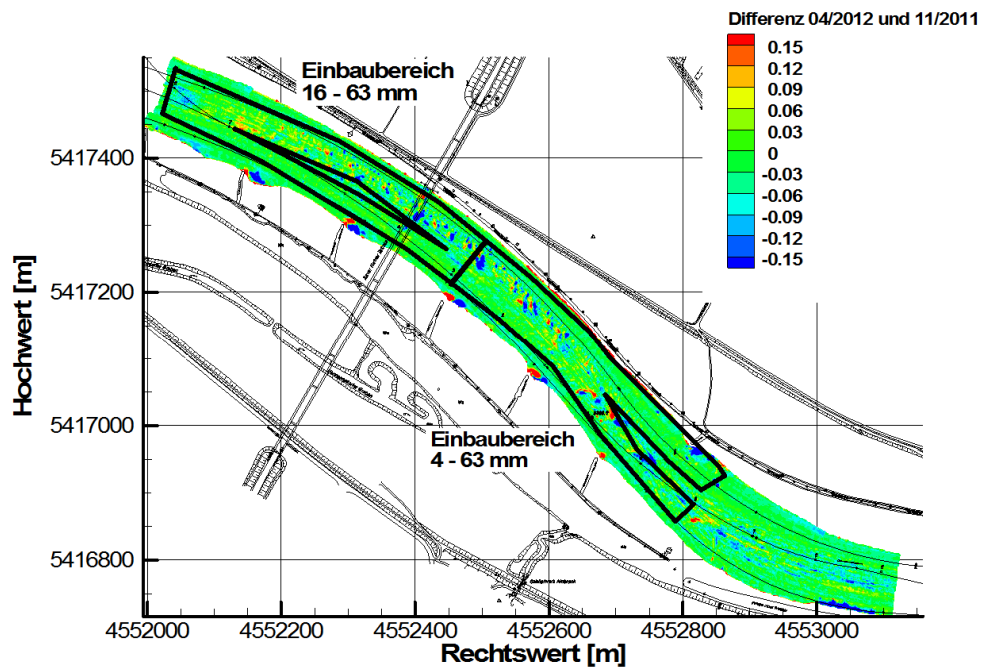


Abb. 7: Sohlhöhendifferenzen zwischen der Peilung 11/2011 und 04/2012 im Zugabebereich

Die Sohlproben bestätigen weitgehend das Bild der bisher stabilen Sohle. Abbildung 8 zeigt die Verteilung des Tracermaterials im Bereich und unterstrom der Zugabestelle. Es wird dabei in Kornklasse und Tiefe des Auffindens unterschieden. Deutlich ist zu erkennen, dass unterstrom der Zugabestelle bisher kaum Tracermaterial aufgefunden wurde.

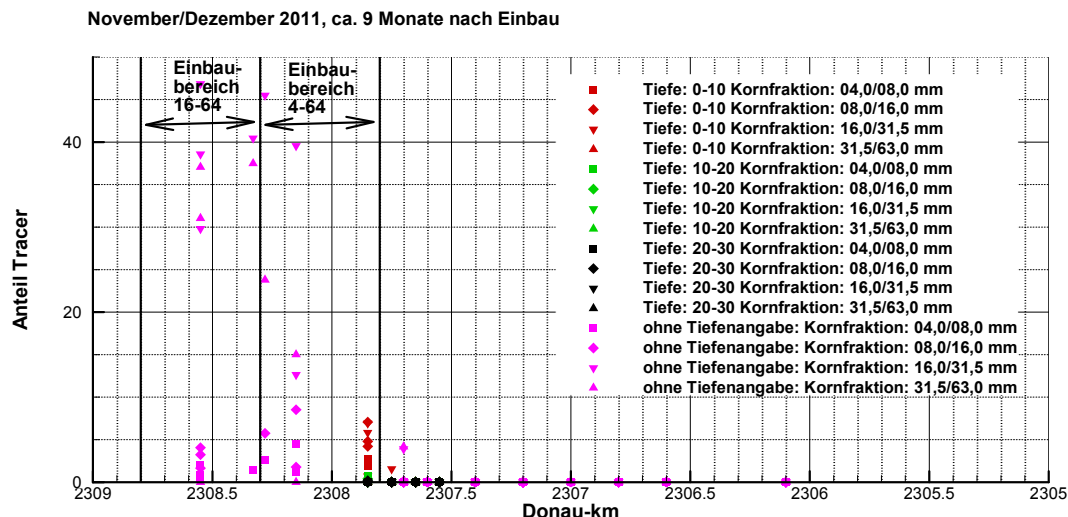


Abb. 8: Anteil der gefundenen Tracer [%] im Einbaubereich und unterstrom in Abhängigkeit von der Tiefe [cm] unter der Sohle

6 Fazit

Der Einbau des Tracermaterials gestaltete sich anspruchsvoll und aufwändig und konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Eine Aussage bezüglich der Transportweiten des Tracermaterials ist durch die seitdem aufgetretenen relativ geringen Hochwasserabflüsse nicht möglich. Die Stabilität der Versuchsstrecke ist bisher weitgehend gegeben. Lediglich die Einebnung lokaler, durch den Einbau bedingter Unebenheiten hat stattgefunden. Aufgrund der geringen Transportweiten wird der aktuelle Untersuchungsbereich unterstrom der Einbaustelle eingeschränkt. Zudem wird wegen der geringen Hochwasserabflüsse eine Verlängerung des Untersuchungszeitraums angestrebt. Eine endgültige Aussage ist somit nicht vor Ende 2015 zu erwarten.

Literatur

KELLERMANN, J. (2011): Langfristige Sohlentwicklungen an der Donau zwischen Straubing und Hofkirchen, Information 2011, WSD Süd, Würzburg.



Kontakt:

Jürgen Schillinger

Wasser- und Schifffahrtsamt
Regensburg
Erlanger Straße 1
93059 Regensburg
Tel.: 0941/ 8109 320
Fax: 0941/ 8109 160
E-Mail: juergen.schillinger@wsv.bund.de

Jahrgang: 1967

1985-1991

Studium Bauingenieurwesen und Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Karlsruhe

1991-1995

Ingenieurbüros für Wasserkraftanlagen und Prüfstatik in München

seit 1995

Wasser- und Schifffahrtsamt Regensburg



Kontakt:

Jürgen Kellermann

Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe
Tel.: 0721/ 9726 3540
Fax: 0721/ 9726 5340
E-Mail: juergen.kellermann@baw.de

1982-1989

Studium Bauingenieurwesen an der TH Darmstadt

seit 1989

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der
Bundesanstalt für Wasserbau

seit 2001

stellvertretender Referatsleiter W2, Binnen

Projektbearbeitung:

2010-2012: EU-Studie zum Donauausbau Straubing-Vilshofen

seit 2009: Fachkreis Naturschutz und Landschaftspflege in der WSV

2000-2008: Probebetrieb ARGO-Donau

1996-2001: Vertiefte Untersuchungen zu Möglichkeiten und Grenzen flussbaulicher Methoden des Donauausbaus

seit 1989: Morphologische Modellierungen zum Donauausbau, Naturerhebungen

Abschätzung der Dichtwirkung von Auesedimenten an der Donau, Abschnitt Straubing-Vilshofen

Elmar Fuchs, Philipp Jaesche und Kai Uwe Totsche

1 Warum ist dicht wichtig ?

Eigenschaften und Funktionen von Flussökosystemen werden unter anderem durch die hydrogeomorphologischen Merkmale des Einzugsgebietes definiert. Um Wirkungen von Managementmaßnahmen auf den Fluss und seine Auen auf lokaler Ebene wie auch auf Einzugsgebietsebene einschätzen und beurteilen zu können, ist eine gute Kenntnis dieser Charakteristika notwendig.

Ein wichtige Rolle bei der Einschätzung maßnahmenbezogenen Auswirkungen spielt oftmals die Veränderung von Wasserständen und Wasserflüssen. Vertikale und laterale Wasserflüsse werden durch die Durchlässigkeit der Bett bildenden Flusssedimente und in der Aue durch die dort abgelagerten Flusssedimente, also die Auenböden, beeinflusst.

Ob eine Gewässersohle dicht ist oder nicht, kann also Einfluss haben auf die Austauschvorgänge zwischen Fluss- und Grundwasser, die daran gebundenen Wasser- und Stoffflüsse, die Hydraulik des Flusses, seinen Sedimenthaushalt und nicht zuletzt auf die Lebensräume (Habitate) der Gewässersohle. In der Flussaue beeinflusst die Durchlässigkeit der Auenböden quantitativ und qualitativ die Austauschvorgänge zwischen Boden-, Oberflächen- und Grundwasser, damit den Bodenwasserhaushalt, die Bodenentwicklung und auch hier letztlich die Habitate der Organismen. Die Sensibilität gegenüber Änderungen in diesem Wirksystem aufgrund natürlicher oder anthropogener Veränderungen, wie Landnutzung, Hochwasserschutz oder wasserbauliche Maßnahmen müssen die an Flüssen handelnden Akteure einschätzen und bewerten können.

Für wertvolle Lebensräume der Aue ist es z. B. von entscheidender Bedeutung, ob Eingriffe am Fluss, welche den Flusswasserstand verändern, über die Wirkungskette Flusswasser-Grundwasser-Bodenwasser auch sekundäre Wirkungen auf die Habitate von Fauna und Flora haben, insbesondere, wenn diese durch nationales oder europäisches Recht geschützt sind.

2 Darstellung und Messung der Durchlässigkeit

Obwohl der Fluss und seine Aue eine zusammengehörige Funktionseinheit sind und heutzutage als solche fachlich und auch rechtlich (EG-WRRL 2000) behandelt werden, ist die Analyse und Darstellung der Dichtwirkung von Fluss und Aue in historischer Perspektive für Flusssedimente und Auensedimente zumeist separat durch verschiedenen Fachdisziplinen betrieben worden.

2.1 Flusssedimente

Der Vorgang, der die Abnahme der Durchlässigkeit in Flusssedimenten beschreibt, wird als Kolmation bezeichnet. Darunter wird das Eindringen von Sink- und Schwebstoffen sowie Wasserinhaltsstoffen in die potenziell wassergängigen Porenräume der abgelagerten Sedimente verstanden. Das „Verstopfen“ der Porenräume kann rein mechanisch durch Verfüllen mit Partikeln wie aber auch durch physiko-chemische oder biologische Umsetzungsprozesse in den Porenräumen erfolgen. Einfluss auf diesen Prozess haben das Flusseinzugsgebiet (z. B. alpine Prägung oder Mittelgebirgsfluss, Landnutzung, Bodenerosion), die jeweilige hydrogeologische Lage (Infiltrations- oder Exfiltrationsverhältnisse), die morphologische Lage (Prall- oder Gleithang, strukturreich oder strukturarm), die Hydraulik selbst (Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung), die Wasserqualität (Inhaltstoffe, organischer Anteil, Einleitungen), die Lebensgemeinschaften der Sohle (Makro-, Meio- und Mikrobenthos) wie auch die Redoxverhältnisse an und in der Sohle.

Dargestellt und gemessen werden kann die Kolmation durch Untersuchung der Oberfläche der Flusssohle mit visuellen Methoden (z. B. Abschätzung des Anteils an Feinsedimenten, Ansprache von Bohrungen), Laboranalyse der Korngrößen, Messung der hydraulischen Leitfähigkeit (Stechzylinderprobe), Penetrometermessungen oder auch indirekt durch die Analyse der Redoxverhältnisse an und in der Sohle.

Modellvorstellungen zur Kolmation sind auf Grundlage o. a. Zusammenhänge beschrieben. DESCLOUX et al. (2010) zeigen z. B. eindeutige Zusammenhänge zwischen dem Anteil von Feinsedimenten in der Sohle und ihrer hydraulischen Leitfähigkeit (Abb. 1).

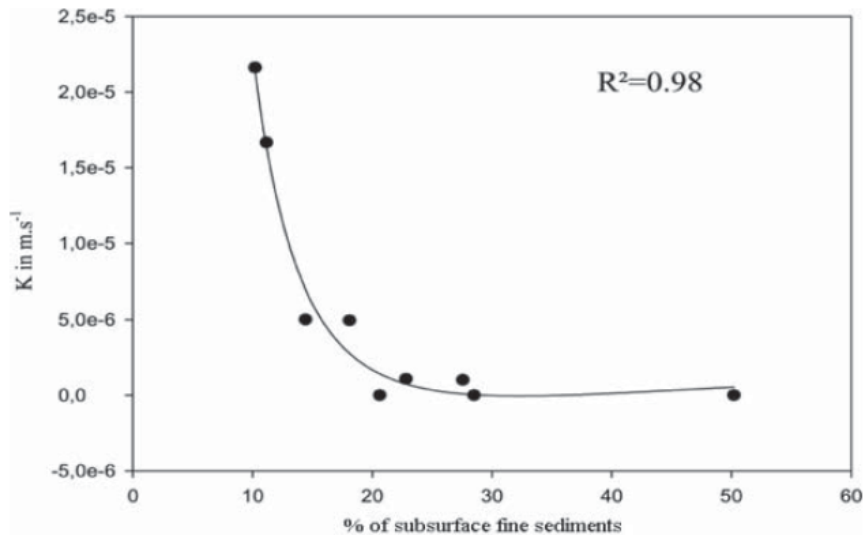


Abb. 1: Anteil der Feinsedimente in der Gewässersohle und ihre hydraulische Leitfähigkeit (DESCLOUX et al. 2010)

SCHÄLCHLI (1993) analysiert die Zusammenhänge etwas komplexer und parametrisiert in seiner zweiten Kolmationsgleichung die Abhängigkeit der Sohldichtung von der Sedimentkonzentration, der Korngrößenverteilung des Flussbettes, der Reynolds Zahl, der Sohlschubspannung und dem vorhandenen hydraulischen Gradienten.

2.2 Auenböden

Verlassen die Flussschwebstoffe und -sedimente ihr Bett und gehen nach Überflutungen an Land, verlassen sie ihre „nasse Phase“ und bekommen buchstäblich Luft. In der Aue stellt sich damit ihr Verhalten grundsätzlich anders dar, da eine Vielzahl von Prozessen in Gang kommt, die im Fluss nicht stattfinden.

Zunächst kommt es zu rein physikalischen Vorgängen wie Setzung, Sackung und Einregelung der Partikel. Mit dem Einsetzen Boden bildender Prozesse beginnen Verwitterung mit Verbraunung (Eisenoxidneubildung durch Hydrolyse primärer Eisen(II)minerale) und Verlehmung (Tonmineralneubildung durch Silikatverwitterung), die zu einer „Verfeinerung“ des Korngrößenspektrums führen können. Ton kann im Solum verlagert werden und sich in tieferen Schichten dichtend einlagern. Der Eintrag von sekundärer organischer Substanz durch Besiedlung mit Vegetation und Fauna verändert das bodenchemische Milieu. Die Ausbildung eines Bodenmakrogefüges wird durch diese Prozesse angetrieben. Durchwühlen des Bodens durch Bodentiere (Turbation), Stoffumlagerung durch Redoxprozesse wie auch weitere Erosions- oder Sedimentationsprozesse komplettieren die bodenbildenden Vorgänge. In ihrer Wirkungssumme und Dynamik führen sie letztlich zu einem komplexen Räummuster von physikalischen und chemischen Gradienten im Boden, gespiegelt in der Ausbildung von Bodenhorizonten.

Möchte man die Durchlässigkeit von Auenböden beschreiben, so wird man schnell feststellen, dass dies in einem sich ständig ändernden Medium aus Feststoffen, Wasser und Luft nicht trivial ist. Die Wasserbewegung im Boden ist durch das Potenzialkonzept mit Gravitationspotenzial ψ_z , Matrixpotenzial ψ_m , Gaspotenzial ψ_g und osmotischem Potenzial ψ_o gut beschrieben, wenngleich auch messtechnisch aufwändig und nur mit großer Variationsbreite erfassbar. Druckaufnehmer im Gelände (z. B. Tensiometer) oder die Druckent- und -bewässerung ungestörter und unterschiedlich wassergesättigter Stechzylinderbodenproben sind dabei einschlägige Methoden. Für die Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit k_f und der ungesättigten Wasserleitfähigkeit k_s im Labor existieren genormte Methoden (k_f nach DIN 19683-9, k_s nach DIN ISO 11275). Darstellen lassen sich die Zusammenhänge z. B. in sogenannten pF-WG-Kurven, die den Zusammenhang zwischen Matrixpotenzial ψ_m (bezogen auf eine Volumeneinheit als Druck in Pa) und Wassergehalt WG im Boden (in Gewichtsprozent) aufzeigen.

Insbesondere k_s -Messungen finden Eingang in bodenhydraulische Modelle. Umfangreiche bundesweite Datenkollektive aus Bodenuntersuchungen und Wasserhaushaltsmessungen sind und werden in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) statistisch ausgewertet und in generalisierte Pedotransferfunktionen zur Abschätzung von k_f oder auch k_s aus im Gelände aufnehmbaren Bodenvariablen wie z. B. Korngröße, Humusgehalt und Lagerungsdichte überführt (ad hoc AG Boden 2005, MÜLLER 2004, DIN 4220). Festzuhalten bleibt aber, dass zur Abschätzung der Dichtwirkung von Böden über die Darstellung ihrer Durchlässigkeit keine generischen und einfach übertragbaren Modellvorstellungen verfügbar sind.

3 Dichtwirkung von Auenböden an der Donau

Für die Anpassung der Wasserstraße Donau an die Erfordernisse der Schifffahrt zwischen den Orten Straubing und Vilshofen wurden zur Abschätzung potenzieller umweltbezogener Auswirkungen möglicher Ausbauvarianten an der Strecke von ca. 70 km Länge umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Aussagen zu Auswirkungen auf den Lebensraum Aue und mögliche Veränderungen in der Vegetation erfordern eine vertiefte Kenntnis über die Wasserbewegung zwischen Fluss- und Grundwasser und den Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt. Die Frage ist, ob prognostizierte Wasserstandsänderungen von Fluss- und Grundwasser sich auf den Bodenwasserhaushalt auswirken und damit Habitate verändern. Die Option eines verhindernden oder mildernden Effektes durch dichte Auenböden steht dabei im Fokus. Dafür musste eine geeignete Methode entwickelt werden, welche die Dichtwirkung von Auenböden der Donau darstellen und in die Fläche extrapolieren kann.

3.1 Auenböden in der Strecke Straubing-Vilshofen

Der Umfang des Untersuchungsgebietes zur Ausbaustrecke Straubing-Vilshofen umfasst ca. 270 km² Donauaue. Seit 1997 wurden hier umfangreiche Bodenbohrungen durchgeführt, die zumeist aus Pürckhauer-Bohrungen von 1 m Länge bestehen. Immerhin wurden mit einer mittleren Bohrdichte von fast 1 Bohrung/ha 25.491 Bohrungen niedergebracht (Planungsbüro Prof. Dr. Schaller 1997, 2001).

Zur Beschreibung des tieferen Bodenaufbaus sind in den Jahren 2006 bis 2011 durch die EMC GmbH weitere 311 Bohrungen (Rammkernsondierungen), vorwiegend in Weichholzstandorten bis in Tiefen von über 3 m angelegt worden.

Mit diesem Datensatz wurde ein deutliches Bild der Auenböden an der Donau geschaffen, was sich, wie zu erwarten, sehr heterogen darstellt. Etwa 70 % der vorkommenden Böden sind reine Auenböden, 23 % der Böden sind im Solum durch Grundwasser beeinflusst (Gleye). Nicht alle Grundwasserböden unterliegen der auentypische Grundwasserdynamik und sind im engeren Sinne reine Gleye, die aber in der Aue liegen. Die übrigen Böden sind anthropogen entstandene Böden oder sind als nicht mehr semiterrestrisch, sondern als reine terrestrische Böden anzusprechen (Abb. 2).

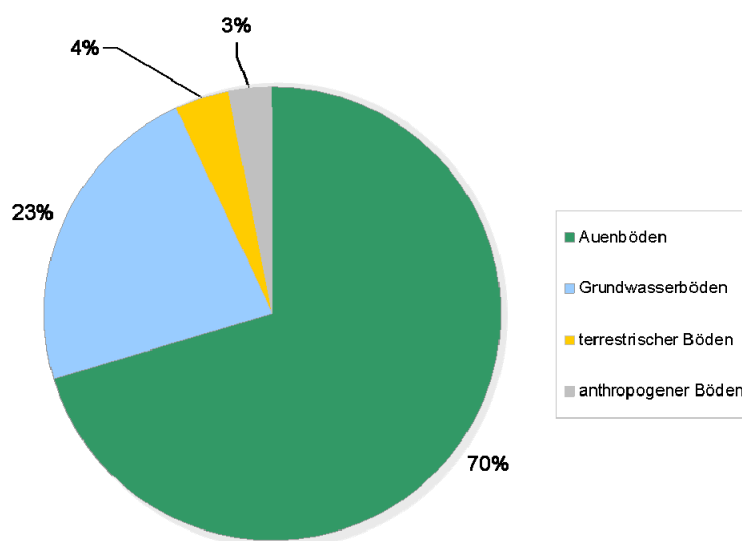


Abb. 2: Verteilung der Böden in der Donauaue zwischen Straubing und Vilshofen (Daten: Planungsbüro Prof. Dr. Schaller 1997, 2001, EMC 2012)

3.2 Modellansatz zur Abschätzung der Dichtwirkung

Der Modellansatz zur Dichtwirkung der Auenböden an der Donau wurde im Wesentlichen von der EMC GmbH (Erfurt) in Kooperation mit Prof. Totsche vom Lehrstuhl für Hydrogeologie der Universität Jena (Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät) entwickelt.

Von den 311 zwischen 2006 und 2011 niedergebrachten Sondierungen wurden 39 ausgewählt, um dort ungestörte Bodenproben (Stechzylinder) für bodenphysikalische Laboruntersuchungen zu entnehmen. Aus 61 Bodenhorizonten wurden 246 Messungen der gesättigten Wasserleitfähigkeit k_f durchgeführt.

Die Aufgabe war, aus diesem Basisdatensatz Pedotransferfunktionen zu entwickeln, welche die gesättigte Wasserleitfähigkeit k_f mit aus den im Feld aufgenommenen Parametern der Bodenansprache modellhaft vorhersagen können; k_f sollte für charakteristische Bodenhorizonte wie auch für die Gesamtbodenprofile abschätzbar sein. Mit den Ergebnissen dieser Analysen sollte die Dichtwirkung dargestellt werden.

Die entwickelte Modellvorstellung sollte auf alle tiefer gehenden Bohrungen aus den Jahren 2006 bis 2011 sowie auf die Bohrstocksondierungen aus den vorhergehenden Zeiträumen angewendet werden. Im Umgriff des engeren Untersuchungsgebietes befanden sich hiervon rund 13.900 Bohrungen.

Der Aufbau der Modell umfasste folgende Schritte:

1. Entwicklung univariater linearer oder nicht linearer Regressionsmodelle für Horizontleitfähigkeiten
2. fachlich-subjektive Selektion geeigneter Modelle
3. Aufbau multivariater Modelle für Horizontleitfähigkeiten (k_{f_Hor}) aus den selektierten Modellen
4. Berechnung der Äquivalentleitfähigkeit (k_{f_equ}) für Gesamtbodenprofile

Nach Sichtung aller Felddatensätze der Geländeaufnahmen wurden für den ersten Schritt als unabhängige Variablen die Parameter Horizontobergrenze, Horizontmächtigkeit, Humusgehalt, Anteil der Feinwurzeln, Anteil der Grobwurzeln, Lagerungsdichte und die Bodenart (klassiert) ausgewählt. Empirisches Wissen bescheinigt diesen Parametern einen relevanten Einfluss auf die Durchlässigkeit von Böden.

Aufgrund der eingeschränkten Grundgesamtheit wurden die Modelle für die Horizontleitfähigkeiten auf Ah-Horizonte (humoser Oberbodenhorizont), M-Horizonte (Horizont aus Aue-sedimenten) und Go-Horizonte (Horizont im Grundwasserschwankungsbereich) beschränkt.

Die entwickelten univariaten Modelle (lineare Modelle, logarithmische Modelle, Potenzmodelle) wurden im zweiten Schritt fachlich mit statistischen und bodenkundlichen Kriterien auf ihre Eignung für die weiteren Modellaufbauschritte geprüft und selektiert.

Der dritte Schritt erstellte aus diesen Modellen multivariate Modelle für die drei Horizontgruppen Ah, M und Go. Das Beispiel für das Modell der M-Horizonte zeigt, dass mit den zwei Vorhersagevariablen Horizontobergrenze und Bodenart nur ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,48$ erreicht wird. Wurden in der statistischen Analyse die Variablen Lagerungsdichte, Fein- und Grobwurzeln eingeführt, so erhöhte sich das Bestimmtheitsmaß auf $r^2 = 0,80$ (Abb. 3).

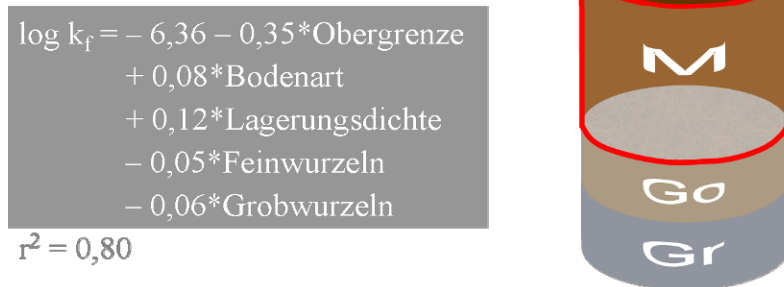


Abb. 3: Multivariates Regressionsmodell für die Horizontleitfähigkeit k_{f_Hor} der M-Horizonte

Entsprechend wurde für die Ah- und Go-Horizonte verfahren. Tabelle 1 zeigt die Vorgehensweise zur Ableitung der Horizontleitfähigkeiten für die weiteren in den Bohrungen vorkommenden Bodenhorizonte.

Tabelle 1

Horizontgruppen und verwendeter Ansatz zur Ableitung der Horizontleitfähigkeiten k_{f_Hor}

Horizontgruppe*	Ansatz
Ah, M, Go	Regressionsmodelle
Gr	k_f -Messungen im Labor
H, Bv, Sw/Sd Horizonte > 25 Gew.% Grobboden > 2mm	Ableitung nach Zuordnungstabellen KA5 (ad hoc AG Boden 2005)

* Ah = humoser Oberbodenhorizont, M = Horizont aus Auesedimenten, Go = Horizont im Grundwasserschwankungsbereich, Gr = Horizont ständig grundwassererfüllt, H = Torfhorizont, Bv = verbraunter und verlehmt Verwitterungshorizont, Sw/Sd = Stauwasserleiter bzw. Stauwasserhorizont
KA5 = Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Auflage (ad hoc AG Boden 2005)

Im letzten Schritt des Modellaufbaus wurde die sogenannte Äquivalentleitfähigkeit k_{f_equ} für eine gesamtes Bodenprofil aus dem über die Horizontmächtigkeiten gewichteten Mittel der Horizontleitfähigkeiten aller im Bodenprofil enthaltenen Horizonte berechnet.

$$k_{f_equ} = \sum n_i / \sum (n_i / k_{f_Hor_i})$$

wobei

n_i = Mächtigkeit des Horizontes i

$k_{f_Hor_i}$ = gesättigte Wasserleitfähigkeit des Horizontes i

Mit diesem letzten Schritt wurde die Anwendung der entwickelten Modelle zunächst auf die tiefer gehenden Sondierungen aus den Jahren 2006 bis 2011 vorgenommen. Die wertende Einstufung der Leitfähigkeiten erfolgte nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (ad hoc AG Boden 2005). Abbildung 4 verdeutlicht, dass etwas mehr als ein Drittel der Böden eine geringe bis sehr geringe gesättigte Äquivalentleitfähigkeit besitzt und damit als dicht einzustufen ist. Etwas mehr als die Hälfte der Böden zeigt jedoch eine mittlere Leitfähigkeit, 6 % der Böden haben sogar hohe bis extrem hohe Äquivalentleitfähigkeiten.

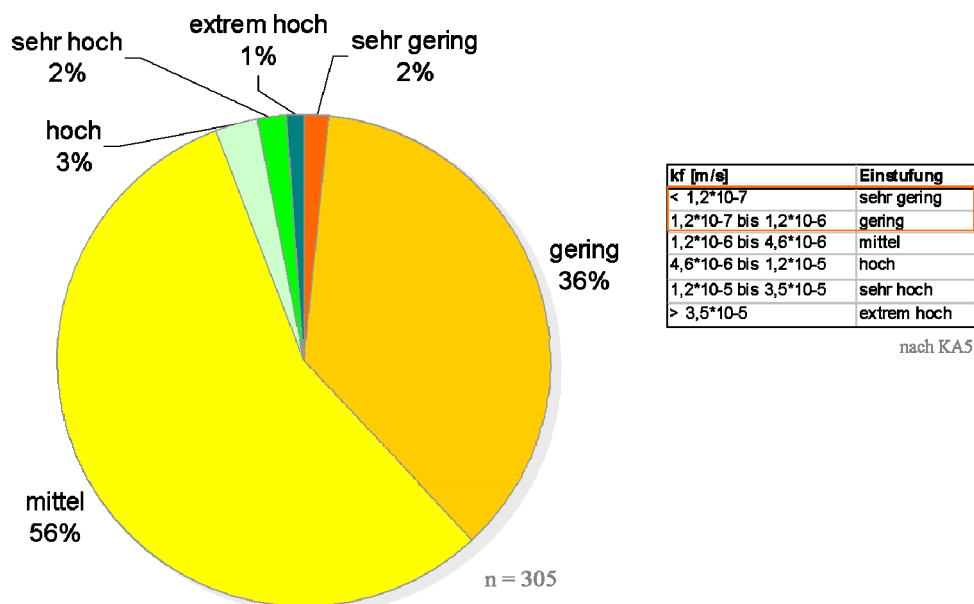


Abb. 4: Anteil der durch die Bodenmodelle berechneten gesättigten Äquivalentleitfähigkeiten k_{f_equ} ($n = 305$), Einstufung der gesättigten Wasserleitfähigkeiten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (ad hoc AG Boden 2005)

Wendet man die Modelle auf die flächendeckende Bodenkartierung mit 13.922 Bohrungen an, so ergibt sich ein punktwolkenartiges Bild, das einen ersten Eindruck der gesättigten Wasserdurchlässigkeiten im Untersuchungsraum gibt (Abb. 5).

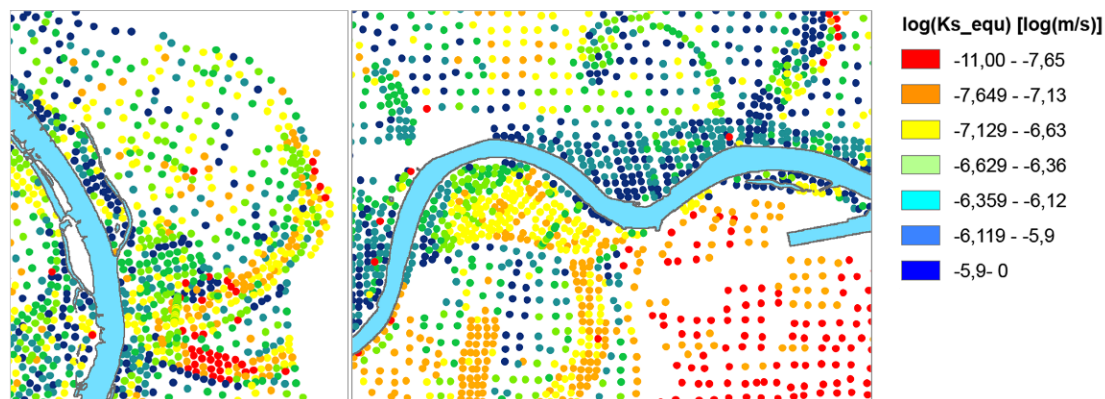


Abb. 5: Anwendung der durch die Bodenmodelle berechneten gesättigten Äquivalentleitfähigkeiten k_{f_equ} auf die Bodenkartierung im Untersuchungsraum ($n = 13.922$), Beispiel zweier Teilgebiete (aus: EMC 2008)

Im weiteren Vorgehen soll eine flächendeckende kartografische Darstellung der Äquivalentleitfähigkeiten ein Bild von der Dichtwirkung der Böden im Untersuchungsraum Straubing-Vilshofen geben. Dazu müssen aber noch geeignete geostatistische Interpolationsverfahren getestet/erarbeitet und angewendet werden, welche eine fachlich stimmige Übertragung der Punktaufnahmen der Bohrungen in die Fläche ermöglichen.

Mit Realisierung dieses Arbeitsschritts können dann Bereiche identifiziert werden, die auf Wasserstandsänderungen, insbesondere Grundwasserstandsveränderungen sensibel oder auch nicht reagieren. Mit empirischer Kenntnis oder durch die Anwendung von Habitateignungsmodellen kann nachfolgend auch abgeschätzt werden, ob die Auenvegetation von Änderungen betroffen ist oder wie sensibel diese reagiert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Am gezeigten Ansatz für das Untersuchungsgebiet an der Donau, Ausbauvorhaben Straubing-Vilshofen, wird klar, dass eine flächenhafte Kenntnis der Dichtigkeit von Auenböden wichtig ist, um maßnahmenbedingte Auswirkungen durch Flusswasserstandsänderungen auf den Bodenwasserhaushalt und damit seine Habitatfunktion lokalisieren, einstufen und bewerten zu können.

Gleichwohl wird klar, dass das nicht mit einfachen Mitteln erreicht werden kann, sondern ein erheblicher Aufwand für Gelände-, Labor- und Entwicklungsarbeit für entsprechende Methodiken notwendig ist. Eigenschaften, Charakteristika und Heterogenität der Auenböden sind ebenso ein Grund dafür wie die Absenz generischer Modellvorstellungen zur Ableitung von Dichtwirkungen. Auch die Annäherung an den Begriff „Dichtheit“ über den Parameter Wasserleitfähigkeit ist dabei nur eine Hilfsgröße, insbesondere wenn man sich auf die gesättigte Wasserleitfähigkeit bezieht. Die gesättigte Äquivalentleitfähigkeit stellt die Obergrenze der Durchlässigkeit eines Bodenprofils dar. Unter ungesättigten Bedingungen ist die hydraulische Leitfähigkeit eines Bodens nicht mehr als konstant zu betrachten, sondern stellt eine hysteretische Funktion der Wassersättigung und der Porenraumgeometrie dar, ist jedoch bei beliebigen (ungesättigten) Wassergehaltswerten stets kleiner als die gesättigte Wasserleitfähigkeit. Die letztendlich entscheidende Größe für beispielsweise die Wasserversorgung eines Standortes sind die tatsächlich auftretenden Wasserflüsse, für deren Ermittlung neben der gesättigten und ungesättigten Wasserleitfähigkeit noch die antreibenden Potenzialgradienten bekannt sein müssen. Die gesättigte Äquivalentleitfähigkeit bildet jedoch eine gut fassbare Größe zur Abschätzung der Obergrenze der Durchlässigkeit eines Standorts.

Für gutachterliche Aussagen bei Praxisprojekten, wie es der Donauausbau darstellt, ist die vorgestellte Methodik fachlich fundiert und kann gut verwendet werden. Sie greift auf nachvollziehbare und empirisch bekannte Zusammenhänge zur gesättigten Wasserleitfähigkeit zurück und verifiziert diese für die regionale Ebene durch lokale Feld- und Laboruntersuchungen sowie gezielte statistische Auswertemethoden. Abschätzungen von bodenwasserbezogenen Wirkungen wasserbaulicher Interventionen sind möglich und lassen Trendaussagen zu. Eine besondere Herausforderung ist allerdings die immense Größe des Untersuchungsgebietes, was auch bei der kritischen Evaluation dargestellter Ergebnisse zu beachten ist.

Eine höhere Detailtreue verlangt sowohl nach höherem Untersuchungsaufwand als auch nach Arbeiten, die in den Bereich der Basisforschung einzuordnen sind. Das Betreiben von zuverlässigen und aussagekräftigen Bodenwasserhaushaltsmodellen kann als Beispiel angeführt werden. Will man solchen Aufwand betreiben, muss dieser in jedem Fall in Beziehung zum „added value“ für die gewünschte oder verlangte Aussage zur Bewertung von maßnahmenbezogenen Auswirkungen gesetzt werden.

Literatur

- ad hoc AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5.Auflage, Hrsg.: Bundesanstalt f. Geowiss. und Rohstoffe, Staatl. Geolog. Dienste, Hannover.
- DESCLOUX, S., T. DATRY, M. PHILIPPE & P. MARMONIER (2010): Comparison of Different Techniques to Assess Surface and Subsurface Streambed Colmation with Fine Sediments. in: Internat. Rev. Hydrobiol. 95/6, pp. 520-540.
- DIN 19683-9 (2012): Bodenbeschaffenheit - Physikalische Laboruntersuchungen - Teil 9: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderbodenproben.
- DIN 4220 (2008): Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen).
- DIN ISO 11275 (2005): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit und des Wasserrückhaltevermögens.
- EG-WRRL: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Wasser-Rahmen-Richtlinie (WRRL). ABl. Nr. L 327 vom 22.12.2000, zuletzt geändert 23.04.2009, 2000.
- EMC - Gesellschaft zur Erfassung und Bewertung von Umweltdaten mbH (2008): Auswertung bodenkundlicher und sonstiger Informationen zur flächendeckenden Darstellung der 'Dichtwirkung' des Bodens: Vorbereitende Arbeiten. unveröfftl. Bericht, im Auftrag der RMD Wasserstraßen GmbH, Erfurt.
- EMC - Gesellschaft zur Erfassung und Bewertung von Umweltdaten mbH (2012): Entnahme von Bodenproben in Schürfgruben, Laboruntersuchungen und Auswertungen. Donauausbau Straubing-Vilshofen - EU-Studie Rammkernsondierungen und bodenkundliche Aufbereitung. unveröfftl. Bericht, im Auftrag der RMD Wasserstraßen GmbH, Erfurt.
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation der Methodendatenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS. Arbeitshefte Boden, Heft 2004/2. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- Planungsbüro Prof. Schaller (1997): Donauausbau Straubing-Vilshofen, Vertiefende ökologische Grundlagenenerhebungen Bodenkunde, Dokumentation Teil 1., Kranzberg.
- Planungsbüro Prof. Schaller (2001): Donauausbau Straubing-Vilshofen, Archivierung und Dokumentation der GIS-Daten der vertiefenden Grundlagenuntersuchung und Ökologischen Studie. Kranzberg.
- SCHÄLCHLI, U. (1993): Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen. Diss. ETH Zürich Nr. 10293, Zürich.



Kontakt:

Dr. Elmar Fuchs

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5338
Fax: 0261/ 1306 5333
E-Mail: fuchs@bafg.de

Jahrgang 1960

1980-1986

Studium der Agrarwissenschaften, Schwerpunkt Pflanzenproduktion, Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Bonn

1987-1992

Promotion, Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg
weitere bodenkundliche gutachterliche Tätigkeiten

seit Ende 1992

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Grundwasser, Geologie Gewässermorphologie

- Bodenschutz an Bundeswasserstraßen
- Umgang mit Baggergut
- Umweltverträglichkeitsuntersuchungen

Ökologische Wirkungszusammenhänge

- Boden als zentrales Element der Ökologie
- Bodenbewertung
- ökologische Modelle

Projektbearbeitungen:

1997-2001: RIVA – Robustes Indikationssystem für
Auen der Mittel- und Unterelbe, Forschungsverbund
zur Elbeökologie

2004-2008: nofdp – naturverträglicher Schutz vor Hochwasserschäden, EU-Interreg IIIB

Dr. P. Jaesche

emc GmbH
Büro Südbayern
Erdinger Straße 84
85356 Freising
Tel.: 08161/ 807 2728
jaesche@emc-gmbh.de

Untersuchungen im Auftrag der
RMD Wasserstraßen GmbH

Prof. Dr. K. U. Totsche

Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Geowissenschaften
Burgweg 11
07749 Jena
Tel.: 03641/ 948 650
E-Mail: Kai.Totsche@uni-jena.de

Flussmorphologische Entwicklung der Grenzoder

Astrid Ewe und Cornelia Lauschke

1 Einleitung

Die Oder bildet auf einer Länge von etwa 160 Kilometern die Grenze zwischen der Republik Polen und der Bundesrepublik Deutschland. Oberhalb der Neiße bei Ratzdorf (Od-km 542,4) und unterhalb des Abzweiges der Westoder bei Widuchowa (Od-km 704,1) verläuft sie auf polnischem Gebiet; die Quelle und ein Teil des Oberlaufs liegen in der Tschechischen Republik.



Abb. 1:
Einzugsgebiet der Oder (Quelle: Wikipedia, Kartenwerkstatt, 20.2.2008;
http://commons.wikimedia.org/wiki/Commons:GNU_Free_Documentation_License_1.2)

Für die Unterhaltung der Grenzoder am linken Ufer ist das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Eberswalde zuständig und für das rechte Ufer liegt die Zuständigkeit bei der Regionalen Verwaltung der Wasserwirtschaft in Stettin (RZGW Szczecin - Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Szczecinie).

Seitdem die Oder Grenzfluss ist, haben sich die zuständigen Verwaltungen um die Abstimmung von Regelungskonzeptionen bemüht. In den 1960er- und 70er-Jahren wurden mit der „Dokumentation der Oder“ zwar eine neue Konzeption erarbeitet und beiderseits bestätigt, diese ist aber aus heutiger Sicht nicht mehr geeignet. Über neue Konzepte konnte lange keine Einigung erzielt werden.

1999 wurde im WSA Eberswalde die Projektgruppe „Stromregelungskonzept Grenzoder“ eingerichtet, um Verbesserungsvorschläge zum vorhandenen Stromregelungskonzept zu erarbeiten. Durch die Projektgruppe wurden umfangreiche Naturuntersuchungen veranlasst, Modelluntersuchungen an die BAW beauftragt sowie zahlreiche weitere Projekte begleitet. Die Arbeit der Projektgruppe wurde inzwischen durch ein neu eingerichtetes polnisch-deutsches Projekt abgelöst.

Systematische Auswertungen der in den letzten Jahren für die Grenzoder erhobenen Daten sind bisher nicht erfolgt. Die BfG wurde daher durch das WSA Eberswalde beauftragt, anhand der vorliegenden Geschiebedaten, Peildaten und Wasserspiegelfixierungen die hydraulisch-morphologische Entwicklung der Oder zu untersuchen.

2 Beschreibung und historischer Rückblick

2.1 Geographische und hydrologische Beschreibung

Der Oberlauf und ein Großteil des Mittellaufes der Oder durchfließen die Republik Polen, bevor an der Mündung der Lausitzer Neiße bei Od-km 542,4 die rd. 160 Kilometer lange Grenzstrecke beginnt. Bei Od-km 617,6 mündet die Warthe in die Oder, die das Einzugsgebiet fast verdoppelt. An der Warthemündung lässt sich die Grenzoder in zwei Bereiche einteilen, in denen die Abflussmengen annähernd gleichbleibend sind. Die Oder mündet über das Stettiner Haff in die Ostsee. Das Einzugsgebiet hat eine Fläche von insgesamt rd. 122.000 km² und liegt zum größten Teil (rd. 88 %) auf polnischem Gebiet.

Die Wasserführung der Oder ist regelmäßig durch ein Frühjahrshochwasser im März/April und oft zusätzlich durch ein Sommerhochwasser im Juni/Juli gekennzeichnet. Zwischen Juni und November treten häufig Niedrigwasserperioden auf, die mehrere Monate anhalten und die Schifffahrt ganz zum Erliegen bringen können.

Tabelle 1

Vergleich Wasserführung von Oder, Elbe und Rhein

		NNQ	MQ	HHQ
Oder	Pegel Hohensaaten-Finow (1921-2010)	111 m ³ /s	520 m ³ /s	3480 m ³ /s
Elbe	Pegel Neu Darchau (1926-1995)	128 m ³ /s	714 m ³ /s	3840 m ³ /s
Rhein	an der Mündung	ca. 600 m ³ /s	ca. 2.500 m ³ /s	ca. 12.000 m ³ /s

Von den deutschen Strömen weist die Oder infolge des Einflusses des Kontinentalklimas die häufigsten und längsten Vereisungsperioden auf. Durch Eisstau hervorgerufene Höchstwasserstände sowie die mit Eisversetzungen verbundenen Gefahren stellen jedes Jahr erneut eine Herausforderung für die polnisch-deutsche Eisbrecherflotte dar.

Im oberen Bereich (etwa bis Od-km 300) ist die Oder staugeregt. Die 25. Staustufe bei Malczyce ist noch im Bau. Die mittlere Oder (Bereich bis zur Warthemündung) und die Untere Oder (ab Warthemündung) sind frei fließend, an den Ufern befinden sich vor allem Buhnen, sowie Deckwerke und vereinzelt Parallelwerke.

2.2 Morphologische Verhältnisse

Das Sohlmaterial der Grenzoder besteht aus einem Sand-Kies-Gemisch, Grob- und Mittelsandanteile überwiegen. Der mittlere Korndurchmesser beträgt an der Neißemündung 2,0 mm, an der Mündung der Warthe etwa 1,4 mm und nimmt bis zum Abzweig der Westoder auf 0,4 mm ab. Das insgesamt sehr feine Material wird bereits bei geringen Abflüssen transportiert. Die BAW rechnet bei ihren Modelluntersuchungen mit Jahresfrachten von ca. 350.000 t/a (oberhalb der Warthe) bis etwa 750.000 t/a (unterhalb der Warthe).

Ein Großteil der Feststoffe wird als Schwebstoff transportiert; Geschiebe wandert in Form von Transportkörpern talwärts. Es treten Riffel, Dünen und alternierende Bänke auf, die sich gegenseitig überlagern. Makroformen erreichen dabei Höhen von mehr als 1,5 m und Längen von bis zu 300 m (oberhalb der Warthe) bzw. bis zu 500 m (unterhalb der Warthe). Die Wandergeschwindigkeit der großen Transportkörper liegt bei 400-800 m/Jahr. Sie beeinflussen die Lage des Talwegs und die vorhandenen Tiefen. Entstehung und Höhe der wandernden Sandbänke hängt maßgeblich von der Trassierung ab (fehlende Krümmungen, wechselnde Breiten, etc.).

Das Material ist sehr mobil, bereits bei Niedrigwasser sind alle Fraktionen in Bewegung. Die Sohle wird ständig umgewälzt und durchmischt sich mit dem Geschiebe. Prozesse wie Abpflasterung, Deckschichtbildung, Vergrößerung oder Verfeinerung über die Zeit treten aufgrund der hohen Dynamik nicht auf.

2.3 Historischer Rückblick

Die Kenntnis der Entwicklung des Oderlaufs ist eine wichtige Voraussetzung, um sinnvolle Entscheidungen über zukünftige Maßnahmen und erreichbare Ziele treffen zu können. Vor Beginn der anthropogenen Eingriffe ab Mitte des 18. Jahrhunderts war die Oder zwischen der Mündung der Lausitzer Neiße (km 542,4) und der Mündung der Warthe (km 617,6) durch Stromspaltungen, Mitteninseln, unregelmäßige Breiten und Sandablagerungen gekennzeichnet; Mäander fehlten. Unterhalb der Warthemündung hingegen schloss sich ein Abschnitt mit großen Mäanderschleifen an. Das noch weiter unterhalb anschließende Odertal war bis zur Mündung ins Oderhaff durch vermoorte Restseen (ähnlich dem Dammschen See) gekennzeichnet, hier teilte sich der Lauf in mehrere Arme auf. Aufgrund dieser Flussbettform war, abgesehen von der Mäanderstrecke oberhalb von Kienitz (km 633), das gesamte Odertal im Bereich der heutigen Grenzoder eine Akkumulationsstrecke (MEIER 1992). Der Ausbau der Oder lässt sich in vier Etappen einteilen (MEIER 1992):

1. Etappe

Seit Mitte des 18. Jahrhunderts wurden vor allem oberhalb km 500 und im Bereich zwischen Küstrin (km 613) und Stützkow (km 681,5) sowie bei Reitwein (km 605-608) Flusskrümmungen und Mäander durch Durchstiche beseitigt und Eindeichungen vorgenommen. Ziel war es, das Land vor Überschwemmungen zu schützen, Eisgefahren zu verringern und Vorflut für Entwässerungsmaßnahmen zu schaffen. Das bekannteste Projekt ist der von 1747 bis 1753 ausgeführte Durchstich zwischen Güstebiese und Hohensaaten (km 645,6-664,9) unter Friedrich dem Großen, mit dem das heutige Oderbruch trockengelegt und als landwirtschaftliche Fläche nutzbar gemacht wurde. Zwischen km 617,6 (Warthemündung) und 704,1 (Abzweig der Westoder) besitzt die Oder heute ein Bett, das zu mehr als 70 % aus Durchstichen besteht.

2. Etappe

In der anschließenden 2. Etappe im 19. Jahrhundert erfolgte der Ausbau des Mittelwasserbettes zwischen Oberschlesien und Raduhn (km 683) nach Plänen, die auf den Grundsätzen des Strombaudirektors Günther aus Breslau von 1818 basierten. Dabei wurde darauf verzichtet, den Stromschlauch wieder in eine gewundene Form zu bringen. Unterhalb der Warthemündung erfolgte der Ausbau uneinheitlich, was noch heute deutlich erkennbar ist.

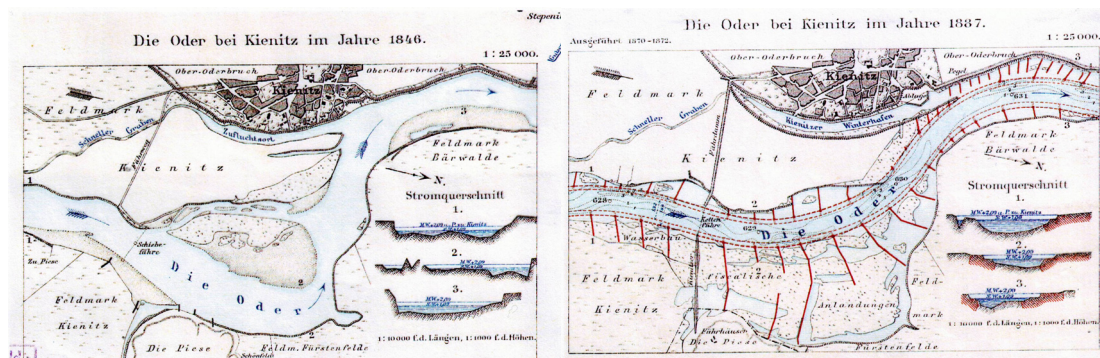


Abb. 2: Ausbau mit Buhnen bei Kienitz

3. Etappe

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts erfolgten Regelungsmaßnahmen an der Oder erstmals mit dem Ziel, die Fahrwasserverhältnisse zu verbessern. Alle vorangegangenen Maßnahmen galten primär der Landeskultur und dem Hochwasserschutz.

Die auf Grundlage mehrerer Gesetze durchgeführten Baumaßnahmen bestimmen den heutigen Ausbauzustand der Oder, mit der Buhne als dominierendes Regelungsbauwerk. Oberhalb der Warthemündung wurde eine systematische Niedrigwasserregulierung durchgeführt, während unterhalb der Warthe nur ein Mittelwasserausbau erfolgte, für den zudem kein zusammenhängendes Regelungskonzept erkennbar ist. Zeitweilig wurde zwischen Warthemündung und Hohensaaten versucht, durch massive Baggerungen Sohle und Wasserspiegel abzusenken, um die Fahrwassertiefen zu verbessern und das Drängewasser ins Oderbruch zu reduzieren.

4. Etappe

Nach 1945 waren zum einen keine Unterlagen mehr vorhanden, zum anderen hatte die politische Landkarte eine völlig neue Gestalt angenommen, die Oder ist seitdem Grenzfluss. 1950 wurden zunächst einmal Vereinbarungen zwischen der DDR und der VR Polen über Schifffahrt und Instandsetzungsmaßnahmen abgeschlossen. Nach den Erfahrungen des Eishochwassers von 1947 hatten Hochwasserschutzmaßnahmen höchste Priorität.

Zwischen 1966 und 1973 wurden mit den „Dokumentationen der Oder“ gemeinsame Regelungsparameter festgelegt. Unterhalb der Warthe sollten die vorläufigen Entwürfe baldmöglichst durch ein neues Konzept ersetzt werden, was bis heute nicht erfolgt ist.

In einzelnen Abschnitten durchgeführte Regelungsmaßnahmen brachten keine nachhaltigen Verbesserungen. Insgesamt hat sich der Zustand der Regelungsbauwerke bis 1990 in Folge mangelnder Unterhaltung weiter verschlechtert. In den letzten Jahren wurden einige Bereiche bereits wieder instandgesetzt, parallel wird an einem gemeinsamen polnisch-deutschen Konzept für die Unterhaltung der Grenzoder gearbeitet.

3 Untersuchung der großräumlichen hydraulisch-morphologischen Entwicklung an der Oder

Die BfG wurde Ende 2010 damit beauftragt, die hydraulisch-morphologische Entwicklung der Oder großräumlich zu untersuchen. Inzwischen liegt der Berichtsentwurf vor, aus dem hier die Methodik sowie erste Ergebnisse vorgestellt werden.

Für das WSA Eberswalde ist dabei von Interesse,

- > eine systematische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse der von der Projektgruppe Grenzoder veranlassten Naturmessungen zu erhalten,
- > die laufenden Messprogramme, insbesondere für Geschiebemessungen, Wasserspiegellagenmessungen und Peilungen abzustimmen und anzupassen,
- > sowie die Ergebnisse der Grobanalyse (numerische Modelluntersuchungen der BAW) weiter zu plausibilisieren und abzusichern.

3.1 Methodik und verwendete Daten

Zur Analyse der gewässermorphologischen Entwicklung der Grenzoder wurde die Entwicklung folgender drei Parameter betrachtet:

1. Hydrologie/Hydraulik: Wasserspiegellagen
2. Morphologie: Peilungen der Sohlhöhe
3. Sedimentologie: Transportmessungen, Sohle

Die vorhandenen Daten wurden entsprechend ihrer Verfügbarkeit dazu in Epochen eingeteilt und ausgewertet. Als Bezugszeitraum wurde der Zeitraum 2004-2010 gewählt, als Vergleichszeiträume wurden zwei historische Epochen 1950-1970 und 1970-1992 sowie eine jüngere Epoche 1993-2003 festgelegt.

Tabelle 2
Epocheneinteilung

Epochen		Geschiebe-/ Schwebstofffrachten	Peildaten (fett: Auswahl für Auswertung)	Fixierungen
1	1950-1970		1965/66 bzw. 1966/67	1950-1958: 6 Fixierungen (3 bei NW)
				1960-1967: 7 Fixierungen (3 bei NW)
2	1970-1992		1970/72, 1976, 1982, 1987, 1992	(keine)
3	1993-2003	1993-2004	1995, 1997, 1998 , 1999, 2003	1994-1999: 6 Fixierungen (2 bei NW)
				2000-2003: 8 Fixierungen (3 bei NW)
4	2004-2010	2004-2010	2005/06/07, 2008	15 Fixierungen (6 bei NW)

Fixierungsanalyse

Wasserspiegellagen wurden mit dem von der BfG entwickelten Verfahren zur Fixierungsanalyse (ein Modul in FLYS) ausgewertet. Neu an dem Verfahren ist, dass Fixierungen wie Abflussmessungen ausgewertet und analysiert werden. Den Fixierungswerten wird dazu an jedem Ort der entsprechende Abfluss zugeordnet. Die Daten werden dann in W/Q-Diagrammen dargestellt und ausgewertet. Nach der Abarbeitung von vier Verfahrensschritten, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, erhält man einen Längsschnitt mit gemittelten Wasserstandsänderungen (ΔW).

Die verwendeten Fixierungen und Wasserspiegellagenmessungen wurden mit verschiedenen Methoden erhoben, weiterhin unterscheiden sich die Datendichten und Genauigkeiten. Alle für die Oder verfügbaren Daten sind in der Wasserspiegeldatenbank Oder zusammengestellt.

- > Bei allen älteren Daten (aus den 1990er-Jahren sowie aus den Jahren 1950 bis 1967) handelt es sich um Fixierungen, die Wasserstandsmessungen sind also zeitgleich und stationär erfolgt (z. B. Pflöckchenmethode).
- > Seit 2001 werden durch das WSA Wasserspiegellagenmessungen vergeben. Stationäre Bedingungen werden als Ziel vorgegeben, können aber meist nicht eingehalten werden. Die GPS-Messungen besitzen Höhengenaugigkeiten von 2-3 cm und dauern zur Erfassung der Oder 2-3 Tage. Eine Umrechnung der instationären Messdaten auf stationäre Verhältnisse ist bisher nicht erfolgt.

Peildatenauswertung

Peildaten lagen in unterschiedlicher Dichte und Qualität vor. Ältere Daten (1950er- bis 1970er-Jahre) wurden als Stangenpeilungen, z. T. über längere Zeiträume aufgenommen. Sie stellen somit keine Momentaufnahme dar und sind zudem recht ungenau. Die Daten mussten teilweise digitalisiert und auf ein einheitliches Höhenbezugssystem umgerechnet werden. Die Plausibilisierung und Auswertung erfolgte mit HYDAP. Für die Auswertung wurden Auswertepolygone (60 m x 100 m) festgelegt, die sich aus der Schnittmenge aller betrachteten Peilungen ergaben. Die ermittelten mittleren Sohlhöhen bzw. Tiefen zeigen sowohl im Längsschnitt als auch im Querschnitt große Differenzen.

Transportmessungen und Sohldaten

Alle vorliegenden Geschiebe- und Schwebstoffdaten wurden qualitativ und quantitativ ausgewertet. Es wurden Transport-Abfluss-Beziehungen getrennt für Geschiebe (fraktionsweise), suspendierten Sand und die Spülfracht (ohne Sandanteil) erstellt, sowie Frachtlängsschnitte für den gesamten Zeitraum. Zudem ist ein Vergleich der Korngrößen von Sohle und Geschiebe erfolgt.

4 Ergebnisse

Wasserstands- und Sohlhöhenänderungen

Im ersten Diagramm sind für die betrachteten Vergleichszeiträume/Epochen die gegenüber dem Bezugszeitraum (2004-2010) ermittelten Wasserstandsdifferenzen dargestellt. Die frühen Epochen (grüne und rote Linie) zeigen, dass es oberhalb der Warthemündung zu einem Verfall der Wasserstände gekommen ist. Unterhalb der Warthemündung hingegen zeigen alle

Linien Aufhöhungen an. Lediglich der jüngste Vergleichszeitraum 2000-2003 (schwarze Linie) zeigt keine nennenswerten Änderungen mehr. Die im zweiten Diagramm dargestellten Sohlhöhenänderungen zeigen für den Bereich oberhalb der Warthemündung nur wenig Änderungen, wohin gegen es unterhalb der Warthe zu deutlichen Anlandungen gekommen ist; in den letzten 10 Jahren sind diese offenbar abgeklungen.

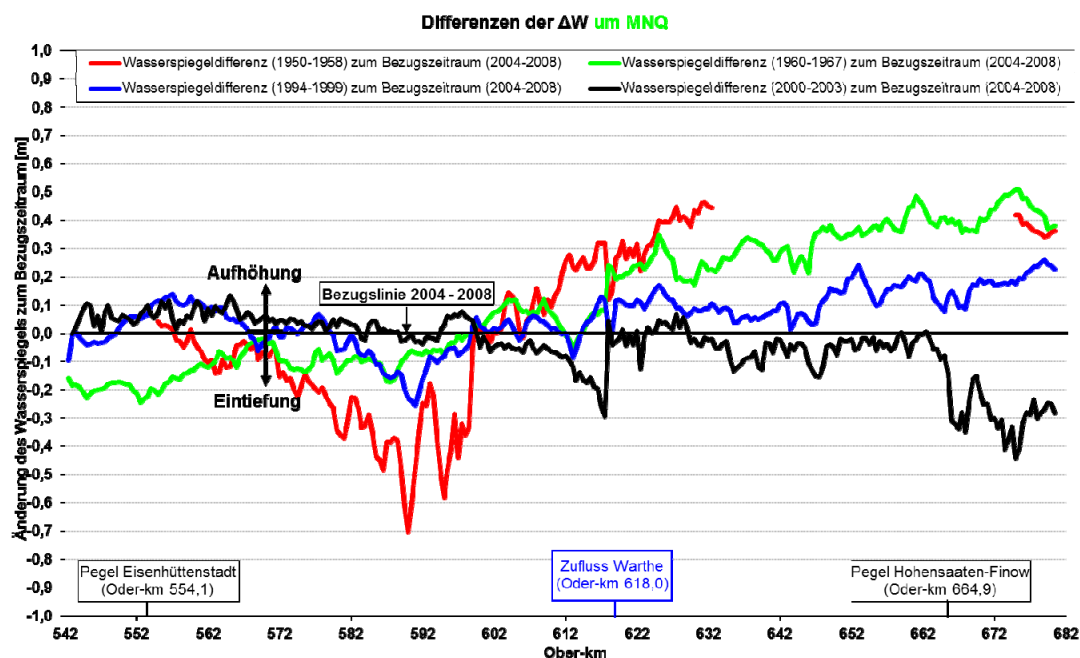


Abb. 3: Wasserstandsänderungen um MNQ (ΔW)

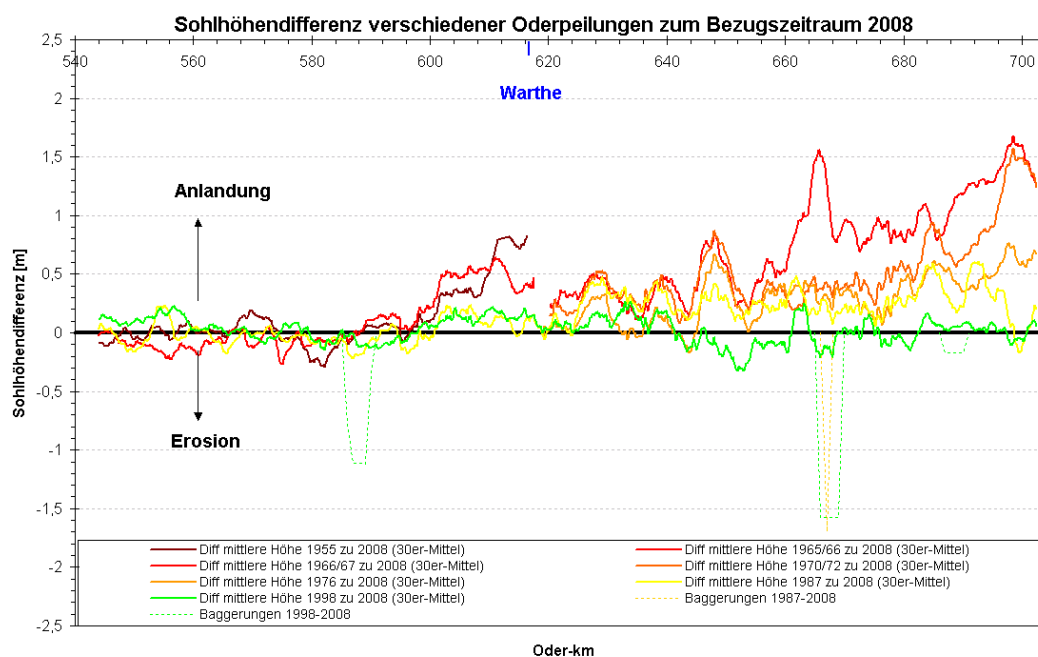


Abb. 4: Sohlhöhendifferenzen aus Peildaten

Sedimentdaten

Transport-Abfluss-Beziehungen wurden für alle Messstellen für die Epochen 1993-2003 und 2004-2010 und für den Gesamtzeitraum erstellt. Auswertungen sind getrennt für den Feinkornanteil, suspendierten Sand und Geschiebe erfolgt. Das Beispiel für die Messstelle Hohensaaten im unteren Bereich der Oder zeigt jeweils deutlich schwankende Werte zwischen den Messwerten, jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Epochen. Weitere Vergleiche wurden für Jahresfrachten angestellt, die aus Peildaten- und Geschiebedatenauswertungen berechnet wurden. Die Größenordnungen zeigen gute Übereinstimmungen, aber dennoch sind die Abweichungen so groß, dass weitergehende Rückschlüsse nicht möglich sind.

5 Fazit

Probleme haben sich wie immer erst bei der Bearbeitung gezeigt: Die Auswertung der Altdaten war schwierig aufgrund unterschiedlicher Methoden, Qualität und ungenügender Dokumentation. Trotzdem sind die Ergebnisse für uns sehr interessant, auch wenn sich damit noch immer nicht alle Fragen beantworten lassen.

- > Systematische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse ist erfolgt.
- > Für das WSA wichtig: Abstimmung und Anpassung der laufenden Messprogramme muss auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse noch erfolgen.
- > Plausibilisierung der Ergebnisse der BAW-Untersuchungen ist nur bedingt möglich, festgestellte Abweichungen sind fachlich zu diskutieren.
- > Feststellung, in welchen Bereichen und in welchem Umfang Erosion und Akkumulation auftraten bzw. zukünftig zu erwarten sind, ist nur bedingt möglich (Ergebnisse sind teilweise zu widersprüchlich).

Literatur

BAW (2006): Grobanalyse der Grenzoder, Abschnitt B (Warthemündung bis Hohensaaten) Untersuchung von Unterhaltungs- und Regelungsmaßnahmen, Bericht zum Sachstand April 2006, Bundesanstalt für Wasserbau, BAW-Nr. 3.02.10045.00 – 01.

BfG (1997 a): Das Oderhochwasser 1997. Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1084; Berlin.

BfG (1997 b): Korngrößenzusammensetzung der Odersohle zwischen Ratzdorf und Widuchowa (Oder-km 542,4-704,1) Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1069; A. Haunschild; Koblenz.

BfG (2009): Analyse von Wasserspiegelfixierungen am Rhein zwischen Iffezheim und Mainz zur Ermittlung zeitlicher Wasserstandsänderungen zwischen 1978 und 2008; Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1634; N. Busch, M. Larina, Dr. S. Vollmer; Koblenz.

BfG (2012 a): Wasserstandsänderungen im Zusammenhang mit der morphologischen Entwicklung an Oberrhein, mittlerer Elbe und Grenzoder, Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1731; N. Busch, Dr. S. Vollmer, M. Hatz ; Koblenz.

BfG (2012 b): Messverfahren des Geschiebetriebes für Wasserstraßen, Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-1761; B. Brandstetter, N. Gehres , Dr. S. Vollmer; Koblenz.

HÜSENER, T., B. HENTSCHEL, A. EWE (2010): Morphologische Entwicklung der Grenzoder, Dresdener Wasserbaukolloquium 2010 „Wasserbau und Umwelt – Anforderungen, Methoden, Lösungen“, Dresden.

MEIER; J. (1992): Bauliche Entwicklung der Oder; Dipl.-Ing. Reinhard Meier; Mai 1992.



Kontakt:

Astrid Ewe

Wasser- und Schifffahrtsamt
Eberswalde

Schneidemühlenweg 21
16225 Eberswalde

Tel.: 03334/ 276 435

Fax: 03334/ 276 171

E-Mail: astrid.ewe@wsv.bund.de

1991-1996

Studium Technischer Umweltschutz an der UGH
Paderborn, Abteilung Höxter

1996-1999

Freiberufliche Tätigkeit für die Bundesanstalt für
Wasserbau, Außenstelle Berlin

seit 1999

Sachbearbeiterin beim WSA Eberswalde,
Sachbereich 4 (Neubau)

Projektbearbeitung:

1999-2012: Projektgruppe Stromregelungs-
konzept Grenzoder

seit 1999: Umsetzung von Kompensations-
maßnahmen

seit 2007: Planfeststellungsverfahren Instand-
setzungsmaßnahme Oder Reitwein

seit 2009: poln.-dt. Projekt zur Aktualisierung
der Stromregelungskonzeption für die
Grenzoder

Oderabschnitt bei Reitwein – Monitoring der Gewässerentwicklung

Nathalie Cron und Andreas Sundermeier

1 Veranlassung

Der betrachtete Oderabschnitt bei Reitwein liegt ca. 90 km östlich von Berlin und ca. 25 km nördlich von Frankfurt (Oder), bei Oder-km 604,6 bis km 605,5 (Abb. 1). Früher grenzte an diesen Bereich ein militärisches Übungsgelände an. Durch Manövertätigkeit kam es zu einer massiven Zerstörung der dortigen Stromregelungsbauwerke (Buhnen). An den noch vorhandenen Buhnenresten haben sich Inseln und Sandbänke gebildet (Abb. 2). Da durch die Ausprägung der Hinterströmung im Bereich der zerstörten Buhnen die hydraulische Wirksamkeit der Bauwerke nicht mehr gegeben ist, kommt es zu Sedimentationen bis in die Fahrrinne (Abb. 3). Zusätzlich entsteht durch die Hinterströmung ein Wasserspiegelverfall im Strom. Die daraus resultierende Abnahme der Fahrrinntentiefe ist für die Frachtschiffahrt und die Fahrt mit Eisbrechern problematisch. Zudem besteht ein größeres Risiko für die Bildung von Eisstau und Eisversetzungen mit möglichen Gefahren für den Hochwasserschutz (z. B. Deichbruch).

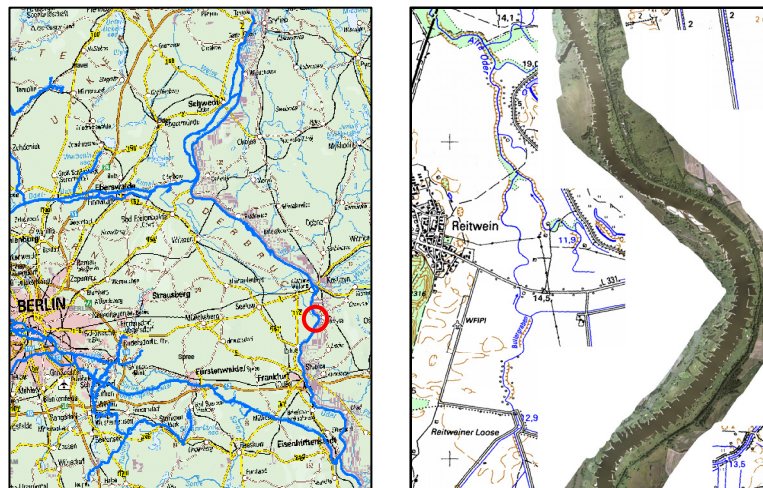


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes (links: Überblick, rechts: Detail)

Durch die Zerstörung der Buhnen und der daraus resultierenden Ausprägung der Hinterströmung ergaben sich aber auch positive ökologische Wirkungen, denn mit Inseln, Sandbänken, Flachwasserzonen, durchströmten Nebenrinnen und Uferabbrüchen sind wertvolle ökologi-

sche Strukturen entstanden (Abb. 2 und 4), die ständiger Erosion und Akkumulation unterliegen. Bereits im Unterhaltungsplan für die Oder von km 603 bis km 617 (BfG 2002) wurde daher festgelegt, die naturnahen Gewässerstrukturen und deren morphologische Dynamik zu erhalten. Mittlerweile ist der Oderabschnitt bei Reitwein Bestandteil des FFH-Gebiets „Oder-Neiße-Ergänzung“ (DE 3553-308) und beherbergt Lebensräume und Arten der Anhänge I und II der FFH-Richtlinie.

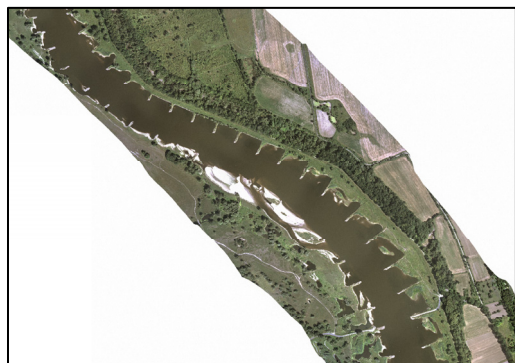


Abb. 2: Darstellung der naturnahen Strukturen im Luftbild bei NW

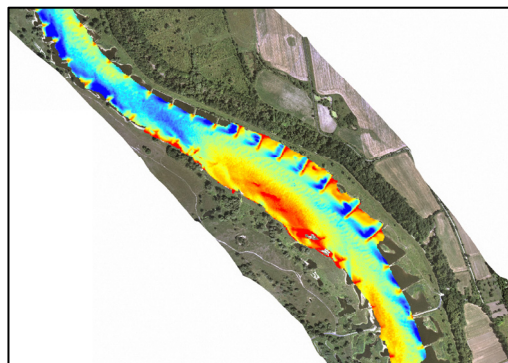


Abb. 3: Darstellung der Sedimentation anhand eines Peilplanes (Daten: SCHMID 2011)

Aufgrund der Zerstörung der Regelungsbauwerke und der damit einhergehenden Gefahren für Schifffahrt und Hochwasserschutz ergibt sich die Notwendigkeit zur Instandsetzung der Stromregelungsbauwerke. Die Planung erfolgt durch das WSA Eberswalde. Um eine ungehinderte Schifffahrt zu ermöglichen, aber gleichzeitig die vorhandenen ökologischen Strukturen entsprechend WHG, OGewV und EG-WRRL (Verschlechterungsverbot) zu erhalten, wurden unterschiedliche Sanierungsmöglichkeiten durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) untersucht (BAW 2006, 2007). Zum einen wurde die Instandsetzung der vorhandenen Buhnen überprüft und zum anderen wurde der Bau eines Parallelwerkes betrachtet. Als Vorzugsvariante wurde ein gegliedertes Parallelwerk mit vorgesetzten Buhnenköpfen und Einströmöffnung bis Mittelwasser als Kompromiss zwischen ökologischen und verkehrlichen Belangen ermittelt (BAW 2006, 2007).

Um sicherzustellen, dass das geplante Bauwerk sowohl die verkehrlichen als auch die ökologischen Ansprüche erfüllt, wird ein begleitendes Monitoring durchgeführt. Nachfolgend wird das Monitoringkonzept mit Schwerpunkt auf den ökologischen Komponenten dargestellt.

2 Das Monitoring

Das Monitoring wird durch das WSA Eberswalde, die BAW und die BfG betreut und ausgewertet. Dabei betrachtet das WSA vor allem die verkehrlichen Aspekte (z. B. durch Peilungen), die BAW berücksichtigt vor allem wasserbauliche Aspekte (z. B. durch hydrologische/hydraulische Betrachtungen). Die BfG ist für die Auswertung der ökologisch relevanten Gesichtspunkte zuständig. Das Untersuchungsgebiet des Monitorings besteht aus dem Vorhabensbereich und einem Referenzbereich. Letzterer besteht aus intakten Buhnenfeldern und dient als Vergleich zum Vorhabensbereich (Abb. 4).

2.1 Ziel des Monitorings

Eine wichtige Rahmenbedingung bei der Umsetzung der Baumaßnahme ist die Beachtung der nationalen (WHG und OGewV) und internationalen (EG-WRRL und EG-FFH-RL) Gesetzgebung zum Erhalt des ökologischen Zustands des Wasserkörpers sowie zum Schutz relevanter Habitate und Arten. Daraus ergeben sich folgende Entwicklungsziele:

1. Erhalt der morphologischen Dynamik und der hydromorphologischen Strukturen im Gewässer und am Ufer als Habitate für Flora und Fauna
2. Schutz und Entwicklung nach FFH-RL geschützter Habitate und Arten
3. Erhalt vorhandener Biotope und ihrer Besiedelung in der vorliegenden Zusammensetzung bzw. einer gleichwertigen Zusammensetzung

Das Ziel dieses Monitorings ist die Erfassung und Bewertung der strukturellen und ökologischen Veränderungen durch die Umsetzung des geplanten Parallelwerkes. Es soll nachgewiesen werden, dass durch den Bau des Parallelwerkes keine gravierenden Veränderungen der derzeit vorliegenden ökologischen Strukturen stattfinden und somit die vorhandenen Habitate erhalten werden. Eine durch das Monitoring ggf. detektierte Verschlechterung soll dazu führen, dass mögliche Gegenmaßnahmen bzw. Verbesserungs-/Optimierungsmaßnahmen eingeleitet werden können. Zusätzlich soll mit Hilfe des Monitorings die Bedeutung der Hydromorphologie als Habitatgrundlage für Flora und Fauna dokumentiert werden. An Bundeswasserstraßen fehlen bisher häufig Monitoringergebnisse zur Effektivität von ökologisch initiierten Maßnahmen. Auch hierzu werden im Rahmen des Monitorings Erkenntnisse gewonnen.



Abb. 4: Links: Darstellung von Vorhabens- (orange) und Referenzbereich (blau) sowie Lage des geplanten Parallelwerkes. Der Pfeil markiert Fotostandort und Blickrichtung des Bildes rechts, Aufnahme (BfG) vom 29.08.2012 bei Niedrigwasser.

2.2 Das hydromorphologische Monitoring

Das hydromorphologische Monitoring erfolgt durch die BfG, Referat M3 *Grundwasser, Geologie und Gewässermorphologie* in Zusammenarbeit mit dem WSA Eberswalde. Der Schwerpunkt des hydromorphologischen Monitorings liegt auf der Entwicklung der Gewässerstrukturen und Substrate durch Erosion und Sedimentation, um mögliche Habitatveränderungen

frühzeitig erkennen zu können. Daran orientieren sich die ausgewählten zu erhebenden, auszuwertenden und zu evaluierenden hydromorphologischen Einzelparameter. Diese Einzelparameter sind den Hauptparametern Grundriss, Längsprofil, Feststoffhaushalt, Gewässerbett und Ufer des UVU-Bewertungsrahmens Hydromorphologie (BfG 2011) zuzuordnen. Sie implizieren somit die hydromorphologischen Qualitätskomponenten nach EG-WRRL: Tiefen- und Breitenvariation, Struktur und Substrat des Gewässerbodens, Struktur der Uferzone sowie Durchgängigkeit für Sedimente. Die Erfassung dieser Parameter erfolgt als Kartierung im Gelände zum Teil zu Fuß und per Boot. Sie wird außerhalb der Vegetationsperiode und möglichst bei einem Wasserstand unter Mittelwasser durchgeführt. Nachfolgend werden die hydromorphologischen Einzelparameter aufgelistet.

GEWÄSSER: Betrachtung der Topographieentwicklung hinter dem Parallelwerk, um mögliche Habitatveränderungen ableiten und bewerten zu können

Hierzu sind Veränderungen vorhandener Sohlstrukturen zu erfassen und zu beurteilen. Vor allem die Änderung der Korngrößenzusammensetzung, der Sedimentmächtigkeit, der Zu- oder Abnahme der Breitenvarianz und des Längsprofils weist auf mögliche Erosions- und Sedimentationsbereiche hin, die wiederum zu Veränderungen der Habitatstrukturen für Flora und Fauna führen können.

- > Kartierung der Sohlstrukturen (in Anlehnung an die Gewässerstrukturgütekartierung)
- > Erhebung der Korngrößenzusammensetzung des Gewässerbettes an ausgewählten Probepunkten im Querprofil
- > Erfassung der Sedimentmächtigkeit im Längsprofil
- > Erfassung des Längsprofils der Wassertiefen
- > Dokumentation der Zu- oder Abnahme der Breitenvarianz
- > Erfassung der Schwebstoffkonzentrationen unter möglichst vergleichbaren Randbedingungen (Abfluss, Jahreszeit, Temperaturen)

UFER: Angaben zur Uferbelastung und Uferentwicklung am linken Ufer im Bereich der Hinterströmung, um Aussagen zu Veränderungen der vorhandenen Uferstrukturen und Uferhabitate ableiten zu können

- > Entwicklung der Korngrößenzusammensetzung des Uferbereiches (Sedimentprobenentnahme der Uferbereiche an exemplarischen Probepunkten)
- > Kartierung der Uferstrukturen (in Anlehnung an die Gewässerstrukturgütekartierung)
- > Optional Erfassung von sunk- und schwallbeeinflussten Bereichen (abhängig vom vorliegenden Schiffsverkehr)

Die Lokalisierung sämtlicher Probenahmepunkte erfolgt mit Hilfe von GPS-Aufnahmen. Untersuchungen im Bereich der Aue finden nicht statt, da die Modellierung der BAW eine Hochwasserneutralität des Bauwerkes prognostiziert (BAW 2006, 2007). Informationen zur Untersuchungsfrequenz können Kap. 2.4, Tabelle 1 entnommen werden.

Auswertung

Es gilt anschließend, die erfassten Einzelparameter vor dem Hintergrund der ökologischen Funktionen des betrachteten Gebietes auszuwerten (BfG 2011). Es erfolgt eine Bewertung der Hydromorphologie durch Vergleiche zwischen den differierenden betrachteten Untersuchungszeiträumen, den Untersuchungen innerhalb des Referenzbereiches sowie ein Abgleich mit den Ergebnissen des WSA und der BAW aus dem Hauptgewässerbett der Oder.

2.3 Das biologische Monitoring

Neben dem hydromorphologischen Monitoring wird ein biologisches Monitoring durchgeführt, weil Arten und Lebensgemeinschaften gute Indikatoren für bestimmte abiotische Standortfaktoren sind, wie beispielsweise eine bestimmte Korngrößenzusammensetzung des Substrates, das Überflutungsregime oder die Strömungsverhältnisse. Auf Veränderungen von Standortfaktoren reagieren Organismen mit gewissen Toleranzen. Werden diese durch zu große Veränderungen der Lebensbedingungen überschritten, werden andere Arten konkurrenzkräftig, die an die veränderten Bedingungen besser angepasst sind. Dieser Verdrängungsprozess wird im Monitoring wahrgenommen und als Veränderung des Systems interpretiert. Organismen zeigen damit die ökologische Signifikanz abiotischer Veränderungen an.

Weiter wird anhand des Arten- und Lebensrauminventars und seiner Dynamik bewertet, ob eventuell auftretende Systemveränderungen im Untersuchungsgebiet von einem erwünschten naturschutzfachlichen Zustand in einen unerwünschten Zustand umschlagen.

Der Lebensraum im Untersuchungsgebiet wird von einer ausgeprägten hydrologischen und morphologischen Dynamik, dem jahreszeitlichen Wechsel aus Überflutung und Trockenfallen mit starkem Strömungsangriff und Umlagerung von Material beeinflusst. Im Monitoring werden daher zwei terrestrische (Vegetation und Laufkäfer) und zwei amphibische Organismengruppen (Makrozoobenthos und Fische) betrachtet.

Terrestrische Organismengruppen: Vegetation und Laufkäfer

Im vegetationskundlichen Monitoring stehen die einjährigen Uferfluren im Mittelpunkt des Interesses (*Chenopodium glauci*, *Nanocyperion*). Diese Vegetationseinheit ist Teil des FFH-Lebensraumtyps 3270 (SSYMANK et al. 1998). Voraussetzung für eine optimale Entwicklung sind ausgeprägte Niedrigwasserphasen im Spätsommer und Herbst. In diesen wenigen Wochen durchlaufen die beteiligten Arten auf Standorten unterhalb der Mittelwasserlinie ihren Vegetationszyklus von der Keimung bis zur Samenreife. Die langen Überflutungsphasen werden als Samen überdauert (KRUMBIEGEL et al. 2002, KRUMBIEGEL 2003).

Die Höhenlage des Wuchsortes zur Mittelwasserlinie und die Korngrößenzusammensetzung des Substrats bestimmen die Artenzusammensetzung und Struktur der einjährigen Uferfluren. Damit sind sie geeignete Zeigerorganismen für hydromorphologische Veränderungen. Innerhalb eines Höhenbandes von nur etwas mehr als einem Meter ist eine Vegetationsabfolge von nahezu vegetationsfreien Sandbänken – lückigen Uferfluren – hoch aufwachsenden Uferfluren – Röhricht anzutreffen (Abb. 4, rechts). Das Verhältnis mehrjähriger zu einjährigen Pflanzenarten wird dabei umso größer, je höher der Wuchsort über dem Mittelwasser liegt. Nicht weniger bedeutsam ist die Korngrößenzusammensetzung: Einige Arten wachsen auf nahezu reinen Sandstandorten, während andere Arten etwas höhere Bodenfeuchte mit einem gewissen Feinmaterialanteil benötigen.

Die Vegetation wird mit Vegetationskarten im Maßstab 1:2.500 erfasst. Die Artenzusammensetzung der Kartiereinheiten wird an repräsentativen Probestellen nach der pflanzensoziologischen Methodik aufgenommen. Zusätzlich wird eine Gesamtartenliste des Untersuchungsgebietes angefertigt. Die Untersuchungsfrequenz geht aus Tabelle 1, Kap. 2.4, hervor.

Laufkäfer besiedeln naturnahe Flussufer sowohl arten- als auch individuenreich (KLEINWÄCHTER 2007). Viele Arten weisen spezifische Umweltansprüche auf und reagieren schnell mit Flucht und (Wieder)besiedlung auf Änderungen in der Habitatqualität. Sie sind daher zur Bewertung von Eingriffen und Maßnahmen im Ufermanagement sehr gut geeignet. Dies gilt insbesondere für Uferspezialisten wie z. B. *Bembidion velox*, der offene, sandige Ufer besiedelt und auf dynamische Prozesse angewiesen ist. Arten wie *Bembidion velox* sind daher ideale Zeigerorganismen für hydromorphologische Veränderungen hinsichtlich der Höhenlage von Lebensräumen zur Mittelwasserlinie und der Korngrößenzusammensetzung (KLEINWÄCHTER 2007). Die Populationsgröße dieser Arten sind zudem von der Länge vegetationsarmer Uferstreifen im Untersuchungsgebiet abhängig.

Die Laufkäfer werden per Handfang und mit Bodenfallen untersucht. Als Fallen werden Becher mit 6,5 cm Durchmesser verwendet, deren Öffnung bündig mit der Bodenoberfläche eingegraben ist. Die Becher sind mit einer Fangflüssigkeit befüllt, die die Tiere abtötet und konserviert. Die Fallen werden zur Hauptaktivitätszeit der Tiere im Frühjahr und Herbst ausgebracht, jeweils fünf Fallen in fünf Uferhabitaten im Vorhabens- und Referenzbereich. Die Untersuchungsfrequenz geht aus Tabelle 1, Kap. 2.4, hervor.

Aquatische Organismengruppen: Makrozoobenthos (Fischnährtiere) und Fische

Im Makrozoobenthos finden sich viele Zeigerarten für die Substrat- und Strömungsbedingungen. Auch die Sauerstoffverhältnisse über einen längeren Zeitraum schlagen sich in der Artenzusammensetzung nieder. Das Makrozoobenthos wird mittels Greiferproben untersucht (Abb. 5). Es werden jeweils vier Proben im Vorhabens- und Referenzbereich genommen. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt im Kontext des BfG-Monitorings der Grenzoder. Hier werden alle 5 km zwei Proben genommen, eine vom Hart- und eine vom Weichsubstrat.



Abb. 5: Entnahme einer Greiferprobe im Bereich Reitwein am 13.06.2012
(Foto: BfG)

Die Fische werden mittels Elektrofischung im Vorhabens- und Referenzbereich untersucht. Der Vorhabensbereich bietet mit seinen flach überströmten Sandbänken wichtige Laichplätze für verschiedene Fischarten, darunter viele naturschutzfachlich relevante Arten. Von besonderem Interesse ist das Vorkommen des Goldsteinbeißers (*Sabanejewia baltica*), einer Anhang-II-Art der FFH-Richtlinie. Bisher ist die im Vorhabensbereich nachgewiesene reproduzierende Population die einzige an der deutschen Oder und in Deutschland (WOLTER 2011).

2.4 Untersuchungsfrequenz

Tabelle 1 fasst die Untersuchungsfrequenz des Monitorings und die beteiligten Institutionen zusammen. Die Bearbeitung erfolgt zum Teil in Eigenregie durch das WSA und die BfG, ein Teil der Arbeiten wird an Fachgutachter vergeben.

Die Erhebung des Ist-Zustandes wurde im Herbst 2012 abgeschlossen. Das Monitoring soll bis 10 Jahre nach Abschluss der Bauarbeiten laufen. Untersuchungen zur Hydromorphologie und zu den Fischen sind bereits im ersten Jahr nach Umsetzung der Maßnahme geplant, um den Einfluss der Bautätigkeit zu beurteilen. Weitere Untersuchungen folgen für alle Komponenten im 3. (außer Hydromorphologie), 5. und 10. Jahr nach Umsetzung der Maßnahme.

Tabelle 1

Untersuchungsfrequenz des hydromorphologischen und biologischen Monitorings

	Ist-Zustand	1. Jahr	3. Jahr	5. Jahr	10. Jahr	Bearbeitung
	vor Bau- maßnahme	nach Umsetzung der Baumaßnahme				
Hydromorphologie	x	x		x	x	WSA, BfG
Vegetation	x		x	x	x	WSA, BfG
Laufkäfer	x		x	x	x	Gutachter
MZB	x		x	x	x	Gutachter
Fische	x	x	x	x	x	Gutachter

3 Zusammenfassung

Der geplante Bau eines Parallelwerkes zwischen Oder-km 604,6 und km 605,5 soll verkehrliche und ökologische Funktionen erfüllen. Das Stromregelungsbauwerk soll die Bildung von Mindertiefen in der Fahrrinne verhindern, gleichzeitig aber durch die Hinterströmung des Bauwerkes ökologisch wertvolle Uferstrukturen erhalten. In einem auf 10 Jahre angelegten Monitoring wird beobachtet, ob das Parallelwerk die verkehrlichen und ökologischen Anforderungen erfüllen wird. Der Beitrag stellt den ökologischen Teil des Monitorings vor, mit den Komponenten Hydromorphologie, Vegetation, Laufkäfern, Makrozoobenthos und Fischen.

Danksagung

Unser Dank gilt allen an diesem Projekt beteiligten Kolleginnen und Kollegen. Vor allem Frau Dr. Quick, Frau Dr. Kleinwächter, Frau Klima, Herrn Wieland, Herrn Rosenzweig (alle BfG) und Frau Konopatzky (WSA Eberswalde) für die fachliche Unterstützung und Beratung. Weiterhin bedanken wir uns bei Frau Ewe (WSA Eberswalde) für die Bereitstellung notwendiger Daten und Informationen. Für die konstruktiven Diskussionen und Anmerkungen bedanken wir uns bei Frau Faulhaber und Herrn Dr. Lensing (beide BAW).

Literatur

- BAW (2006): Optimierung von Strombauwerken im Oderabschnitt Od-km 603-617 Reitwein-Kiez. Gutachten 3.02.10051.00-02. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe, November 2006.
- BAW (2007): Instandsetzung von Buhnen bei Reitwein (Od-km 605). Gutachten 3.02.10051.00-03. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe, Oktober 2007.
- BfG (2002): Oder – Unterhaltungsplan für den Abschnitt von km 603,00 bis km 617,00- Berücksichtigung ökologischer Belange bei der Unterhaltung-, September 2002, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- BfG (2011): Verfahren zur Bewertung in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung an Bundeswasserstraßen - Anlage 4 des Leitfadens zur Umweltverträglichkeitsprüfung an Bundeswasserstraßen des BMVBS (2007), September 2011, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. Bericht BfG-1559.
- KLEINWÄCHTER, M. (2007): Laufkäfer (*Coleoptera, Carabidae*) in dynamischen Uferlebensräumen der Elbe - Schlüsselfaktoren, Habitatausstattung und anthropogene Einflüsse. Diss. Univ. Braunschweig, 131 S.
- KRUMBIEGEL, A., F. MEYER, U. SCHRÖDER, A. SUNDERMEIER, D. WAHL (2002): Dynamik und Naturschutzwert aktueller Uferfluren der Buhnenfelder im brandenburgischen Elbtal. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 11: 235-242.
- KRUMBIEGEL, A. (2003): Diversität und Dynamik der Ufervegetation an der Mittel-Elbe zwischen Wittenberg und Havelberg. – Tuexenia 23: 315-345.
- SCHMID (2011): Flächenpeilung in der Oder. Peilplan Bereich Reitwein, Oder-km 604,100 bis Oder-km 606,500. Echolot/GPS-Messung vom 05.06.2010 bis 08.06.2010. Datenerfassung durch das Ingenieurbüro Schmid im Auftrag des WSA Eberswalde
- SSYMANK, A. et al. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der FFH- und Vogelschutz-Richtlinie. – Schriftenr. Landschaftspfl. Naturschutz 53: 560 S.
- WOLTER, C. (2011): Erfassung und Bewertung der Fischgemeinschaft im Rahmen von umwelt-planerischen Leistungen für eine Buhneninstandsetzung in der Oder bei Reitwein – Fachbeitrag Fischfauna. Bericht i.A. der Pöyry Infra GmbH, Berlin, 29 S.



Kontakt:

Dr. Andreas Sundermeier

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5151
E-Mail: Sundermeier@bafg.de

Kontakt:

Nathalie Cron

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5348
E-Mail: Cron@bafg.de

Jahrgang: 1962

1985-1992

Studium Geoökologie, Schwerpunkt Geobotanik an der Universität Bayreuth. Mediterranvegetation

1992-1996

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Strukturuntersuchungen in Trockenrasen, 1999 Promotion

1991-1997

Freier Mitarbeiter verschiedener Planungsbüros. 1997 Wasserstufenkartierung Untere Saale

2001-2002

Angestellter der Spang.Fischer.Natzschka Partnerschaft, Walldorf. Projektakquisition, Vegetationskunde, Datenbanken

1998-2001, seit 2003

Bundesanstalt für Gewässerkunde,
Referat U3 – Vegetationskunde/Landschaftspflege.
Ansprechpartner Vegetation

seit 2007

Lehrbeauftragter für angewandte Vegetationskunde am Institut für Integrierte Naturwissenschaften, Universität Koblenz-Landau

Jahrgang: 1983

2003-2008

Studium Umweltschutz an der Fachhochschule Bingen

2008-2010

Bundesanstalt für Gewässerkunde,
Referat U1 – Ökologische Grundsatzfragen, Umweltschutz

seit 2010

Bundesanstalt für Gewässerkunde,
Referat M3 – Grundwasser, Geologie, Gewässermorphologie

Hydromorphologische Entwicklung der Binnenelbe

Stefan Vollmer, Ina Quick und Frauke König

1 Hintergrund

Die mit der Eintiefung des Flussbettes einhergehende Entkopplung von Fluss und Aue hat weitreichende Auswirkungen auf die Hydromorphologie und Ökologie von Gewässerbett und Aue. Das Flussbett tieft sich im Bereich der Mittel- und Unterelbe großräumig ein. Die Erosionsrate liegt bei bis zu 2 cm/a. Die Wasserspiegellagen im Flussschlauch folgen der Sohlentwicklung weitgehend, wenn die Sohlhöhenänderung die dominierende Systemveränderung ist bzw. wenn sich nicht weitere relevante Randbedingungen ändern. Die Erosionstendenz der mittleren Elbe ist bereits über viele Jahrzehnte bis Ende des vorletzten Jahrhunderts zurück dokumentiert (z. B. QUICK et al. 2012). Auch am Rhein (insbesondere am Niederrhein und Bovenrijn) herrschen langfristig Eintiefungstendenzen in vergleichbarem Umfang vor. Die Erkenntnisse zur Sohlentwicklung sowohl an der Elbe als auch am Rhein werden abgesichert, indem vergleichend die Veränderungen der Niedrigwasserstände im Längsschnitt herangezogen werden. Dieser Ansatz der vergleichenden Auswertung von Flussbett- und Wasserspiegelentwicklung wurde für die Untersuchung der hydromorphologischen Entwicklung der Binnenelbe genutzt.

Im Internationalen Bewirtschaftungsplan der Flussgebietseinheit Elbe wurde festgehalten, dass sich die internationale Ebene bemüht, „... Grundsätze für das (...) Geschiebe- und Sedimentmanagement und für die Unterhaltung von Fließgewässern festzulegen (...). Im Rahmen der IKSE¹ wurde 2009 eine Ad-hoc-Expertengruppe „Sedimentmanagement“ eingerichtet mit dem Ziel, auf der Grundlage qualitativer und quantitativer Sedimentuntersuchungen im Elbestrom und seinen bedeutenden Nebenflüssen eine international einheitliche Vorgehensweise für das Sedimentmanagement im gesamten Elbeeinzugsgebiet zu entwickeln und in die Praxis einzuführen. Es werden Handlungsempfehlungen „zum Umgang mit schadstoffbelasteten Sedimenten und zur Verbesserung des hydromorphologischen Zustands des Elbestroms auf der Grundlage eines ausgeglichenen Sedimenthaushalts“ erarbeitet (IKSE 2009, 2013; KLIMENT 2012; HEININGER 2012). Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Schadstoffe/Sedimentmanagement (SSeM) der Arbeitsgruppe Oberflächenwasser der FGG² Elbe ist die nationale Spiegelgruppe Ad-hoc-Expertengruppe „Sedimentmanagement“ der IKSE. Im Rahmen der Expertengruppen wurde eine hydromorphologische Beurteilung des Zustandes der deutschen Binnenelbe durchgeführt. Die Bewertung erfolgte mithilfe des Moduls Valmorph des Integrierten Fluss-

¹ IKSE = Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (<http://www.ikse-mkol.org/>)

² FGG Elbe = Flussgebietsgemeinschaft Elbe (<http://www.fgg-elbe.de/>)

auenmodells INFORM³ der BfG für die gesamte deutsche Binnenelbe von km 0 bis km 586 (deutsch-tschechische Grenze bis Geesthacht) und die Unterläufe ihrer relevanten Nebengewässer Schwarze Elster, Mulde, Saale und Havel. Folgende Parameter wurden für die Beurteilung des hydromorphologischen Zustandes verwendet:

- > Breitenvariation
- > Tiefenvariation
- > Sedimentdurchgängigkeit
- > mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz
- > Korngrößenverteilung des Sohlsubstrates
- > Uferstruktur
- > Aue (Verhältnis rezenter Aue zu morphologischer Aue)

Die Erfassung und Bewertung des Zustands und die Ableitung von Handlungsempfehlungen erfolgen für die ausgewählten hydromorphologischen Indikatorparameter zur Beschreibung des Sedimenthaushaltes und der Hydromorphologie der genannten Gewässer. Die exemplarisch ausgewählten Parameter gelten als Zeiger für die vorherrschenden Sedimentverhältnisse und beeinflussen zugleich die Ausprägung des Sedimenthaushaltes. Sie sind darüber hinaus sehr sensitiv gegenüber anthropogenen Eingriffen in das Gewässersystem und gegenüber entsprechenden Beeinflussungen des Sedimenthaushaltes, dessen Auswirkungen sie direkt durch Veränderungen der gewässerstrukturellen Ausprägungen anzeigen. Der Sedimenthaushalt und die Hydromorphologie eines Gewässers stehen in engem Zusammenhang und beide beeinflussen sich gegenseitig. Sie bilden die Basis für die physikalischen Habitatgrundlagen, die viele einheimische Arten benötigen und z. B. für sich einstellende biologische Qualitätskomponenten (HAUER et al. 2013). Darüber hinaus können sie auch einen entscheidenden Einfluss auf chemisch-physikalische Qualitätskomponenten ausüben (JÄHRLING 2012, QUICK et al. 2013; QUICK 2012, VOLLMER et al. 2012).

Für die detaillierte Darstellung der Methodik und Parametrisierung entlang des Elbeflusslaufes wird auf den Bericht BfG-1657 (ROSENZWEIG et al. 2012) verwiesen. Die hydromorphologische Entwicklung der Binnenelbe wird im Folgenden exemplarisch anhand der Parameter Breitenvariation, Tiefenvariation und mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz vorgestellt.

2 Methoden

Die Parameter Breiten- und Tiefenvariation dienen als Indikatoren für die Breite des Biotoppektrums, wie z. B. die Anzahl an Mesohabitaten (Pool, Riffle etc.), und weisen damit auf die ökologische Qualität eines Gewässers hin. Sedimentations- und Erosionsprozesse werden mit dem Parameter mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz beschrieben und stehen in direkter Wechselwirkung mit dem Abflussverhalten (Reibung, Fließgeschwindigkeit etc.) eines Gewässers und können sowohl zu Problemen mit der Fahrwassertiefe für Schiffe, Schäden an der baulichen Infrastruktur im und am Gewässer als auch zu ökologischen Beeinträchtigungen führen. Eintiefungsprozesse der Sohle sind mit Wasserspiegellagenänderungen

³ Valmorph = eVALuation of MORPHology, Modul zur Erfassung und Bewertung von Veränderungen der Morphologie in Fluss und Aue; INFORM = INtegrated FIOodplain Response Model

im Gewässer und i. d. R. auch des Grundwassers verbunden. Dies führt langfristig zu einer Entkopplung von Gewässer und Aue mit einem Rückgang an autotypischen Lebensräumen, Tier- und Pflanzenarten.

Die Beurteilung der Entwicklung der Tiefen- und Breitenvariation sowie der mittleren Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz erfolgt durch einen Vergleich historischer und rezenter Daten. Die historischen Daten beschreiben somit den Referenz-Zustand. Dieser stellt nicht den natürlichen Zustand dar, beschreibt jedoch basierend auf der bestmöglichen verfügbaren Datengrundlage einen Zustand, der als deutlich weniger verändert zu charakterisieren ist als der rezente Zustand. Der rezente Zustand wird im Folgenden auch als Ist-Zustand bezeichnet (vgl. auch QUICK et al. 2012).

Datengrundlagen

Die Breitenvariation im historischen Zustand wurde basierend auf einer digitalen Rekonstruktion des Elbeverlaufes um 1830/1850 auf der Grundlage von verschiedenen historischen hydrographischen Karten ermittelt (vgl. Abb. 1). Als Uferlinie, die zumeist das Mittel- oder Niedrigwasserbett zeigt, wurde grundsätzlich die Benetzungslinie des kartierten Elbwasserstandes digitalisiert. Zudem sind Inseln sowie Nebenarme (sowohl angeschlossen als auch nicht angeschlossen) dargestellt. Da Uferbänke und Vegetation nicht ausgewiesen wurden, besteht keine direkte Möglichkeit, zwischen Flach- und Steilufern zu unterscheiden. Je nach vorherrschendem Wasserstand der Altkartierung sind dadurch Kies- und Sandbänke der Elbufer teils abgebildet oder verborgen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Gewässerbreite und Breitenvariation der „Elbe um 1830/50“ (BFG 2012). Insgesamt wird die Lagegenauigkeit der Rekonstruktion auf durchschnittlich 10 bis 50 m geschätzt. Die Kartenüberlieferung ließ keine durchgängige Darstellung des Zustands „um 1830“ zu, so dass für rund 125 km (21%) der 586 Fluss-Kilometer stattdessen die Verhältnisse „um 1850“ basierend auf den abschnittsweise vorliegenden historischen Kartenwerken dokumentiert wurden (ROMMEL et al. 2012).

Als Grundlage für die Bestimmung der rezenten Breitenvariation diente an der Elbe die Digitale Bundeswasserstraßenkarte im Maßstab 1:2000 (DBWK2) (ROSENZWEIG et al. 2012).

Historische Sohlhöhen und Wasserspiegellagen wurden dem Elbstromwerk „Der Elbstrom. Sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse“ von 1898 entnommen (Elbstrombauverwaltung 1898). Das Elbstromwerk stellt die einzige binnenelbweit verfügbare Datengrundlage dar, in der in ausreichender Auflösung historische Daten zur Verfügung stehen, um Aussagen zur Entwicklung der Tiefenvariation und der mittleren Sohlhöhe zu ermöglichen. Die Eignung historischer Daten beruht auf dem Zeitpunkt sowie auf der Qualität der Datenerhebung. Zwar wurden quantitative morphologische Aufnahmen der Bundeswasserstraßen erst im Zuge von größeren wasserbaulichen Maßnahmen vorangetrieben, jedoch können diese Aufnahmen einen morphologischen Zustand beschreiben, der im Vergleich zum Ist-Zustand als deutlich weniger verändert zu charakterisieren ist. Dies liegt unter anderem daran, dass die volle Wirkung von wasserbaulichen Maßnahmen oft erst Jahre oder sogar Jahrzehnte nach der Baumaßnahme mit Vollendung des sogenannten morphologischen Nachlaufs erzielt wird.



Abb. 1: Oben: Stromkarten bei Schelldorf, Elbe-km 379,5 im reduzierten Maßstab M 1:20.000₁₂₀, wie für die „Elbe um 1830“ genutzt. (Kart. L 15946, 7a, veränderter Ausschnitt. Veröffentlicht in ROMMEL et al. 2012).
Unten: Ermittlung der Breitenvariation im historischen (grüne Linie) und rezenten Zustand (blaue und violette Linien).

Zur Ermittlung der rezenten Zustände für die Tiefenvariation und die mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz wurden Sohlpeilungen oder die daraus generierten Digitalen Geländemodelle (DGM) als Datengrundlage verwendet. Im Sinne der Vergleichbarkeit wurden die rezenten Sohlhöhen an den Flusskilometern entnommen, an denen die Sohlhöhen in der historischen Aufnahme erhoben worden sind. Die Wasserspiegellagen wurden analog an den entsprechenden Flusskilometern ermittelt. Nach 1990 liegen eine Reihe von Sohlpeilungen in den Bereichen der Binnenelbe als originäre digitale Datengrundlagen vor. Mit Ausnahme des DGM 2004 gibt es jedoch keine durchgängige Sohlenerfassung für den gesamten Binnenelbebereich von km 0 bis 586. In der BfG wurden die meist abschnittsweise vorliegenden Sohlpeilungen unter Einbeziehung des Referates Geodäsie ausgewertet. Für alle Zeiträume wurde jeweils dieselbe Gewässerbite (der vor dem Hintergrund Verkehrssicherheit gepeilte Fahrrinnenbereich) für die Erstellung von Geländemodellen im Fahrwasserbereich zugrunde gelegt. Weitergehende Informationen zur Ermittlung der historischen und rezenten Sohlhöhen und Wasserspiegellagen sind in QUICK et al. (2012), KÖNIG et al. (2012) und ROSENZWEIG et al. (2012) erläutert.

Breitenvariation

Die Breitenvariation berücksichtigt Wechselwirkungen zwischen Wasser und Land und gibt Auskunft über die mögliche Habitatvielfalt am Ufer (vgl. Abb. 2). Zudem stehen Veränderungen der durchflossenen Gewässerbreiten durch die Fließgeschwindigkeit in engem Zusammenhang mit der Strömungsdiversität und dem vorherrschenden Sediment. Untersuchungen an der Donau ergaben z. B., dass die Zunahme der Breitenvariation eine Zunahme der Artenzahl der Fische mit sich brachte (SCHIEMER et al. 1991).

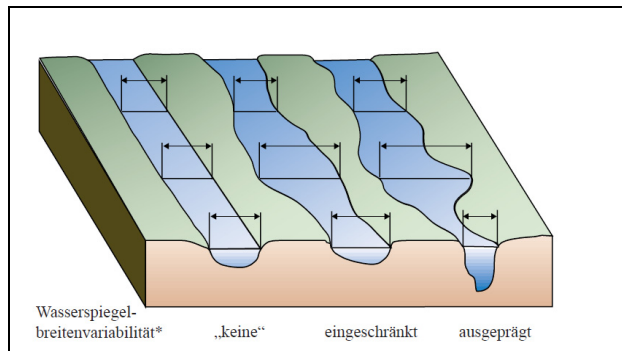


Abb. 2:
Darstellung möglicher Ausprägungen
der Breitenvariation (BUWAL 1998).

Der Parameter Breitenvariation kann durch das Verhältnis der kleinsten zur größten Gerinnebettbreite einschließlich sämtlicher Bank- und Inselbildungen beschrieben werden. Nach natürlichen Mäanderdurchbrüchen erstreckt sich die Gewässerbreite bei vollständiger Anbindung und Durchströmung des Mäanderbogens vom Hauptarm bis zum durchflossenen Nebenarm und impliziert das entstandene Inselareal. Die Gewässerbreiten des historischen Elbeverlaufes wurden basierend auf den digitalisierten Uferlinien von 1830/1850 bestimmt (s. o.). Die Ermittlung der minimalen und maximalen Breiten erfolgte für jeden Kilometer durch Abmessen mehrerer in Betracht kommender Breiten. Inseln wurden übermessen, Nebenarme wurden mit einbezogen, wenn sie angeschlossen waren (vgl. auch Abb. 1).

Zur Ermittlung der rezenten Breitenvariation wurde die Gewässerbreite im Allgemeinen zwischen Böschungsoberkanten an beiden Ufern, basierend auf der DBWK 2, Luftbildern und topografischen Karten, bestimmt. Abgegriffen wurde die Breitenvarianz ca. alle 200 m, wobei das Augenmerk vor allem auf Maxima und Minima gelegt wurde. Weitere Sondersituationen, wie z. B. die Stauhaltung in Geesthacht, Durchstiche von Mäandern oder Verzweigungen des Gewässerlaufs, wurden gesondert betrachtet.

Abschließend wurde für äquidistante Abschnitte von 5 km Länge eine durchschnittliche Breitenvariation bestimmt, indem das gemessene Maximum durch das gemessene Minimum des jeweiligen Abschnitts dividiert wurde. Die hier dargestellte Breitenvariation bezeichnet keine Varianz im mathematischen Sinne, sondern wurde nach folgender Formel berechnet (vgl. ROSENZWEIG et al. 2012):

$$BV_{Ist} = \frac{B_{\max_Ist}}{B_{\min_Ist}} - 1$$

$$BV_{Ref} = \frac{B_{\max_Ref}}{B_{\min_Ref}} - 1$$

BV_{Ist}	= Breitenvariation Ist-Zustand
BV_{Ref}	= Breitenvariation Referenz-Zustand
$B_{max_Ist} / B_{min_Ist}$	= Wert der größten/geringsten Breite im Ist-Zustand innerhalb des betrachteten Abschnittes in m
$B_{max_Ref} / B_{min_Ref}$	= Wert der größten/geringsten Breite im Referenz-Zustand innerhalb des betrachteten Abschnittes in m

Weitere Methoden zur Darstellung der Entwicklung der Breitenvariation an der Binnenelbe, wie z. B. die Berechnung der mathematischen Varianz, der Vergleich von Uferlinienlängen oder benetzten Wasserflächen, befinden sich derzeit in der abschließenden Auswertung.

Tiefenvariation

Je häufiger und stärker die Tiefe des Mittelwasserbettes wechselt, um so besser ist die Energieumwandlung bei Hochwasser und die Dämpfung von Hochwasserwellen, und um so größer ist die Vielfalt an Sedimenten und die Strömungsdiversität in Sohlhöhe (LAWA 2000). Durch ihre Eignung als indirekter Indikatorparameter für die Breite des Habitatangebotes sowie des potenziellen Artenspektrums wird der Tiefenvariation eine besondere Bedeutung beigemessen. Der Parameter beschreibt die Häufigkeit und das Ausmaß des räumlichen Wechsels der Wassertiefen bei Mittelwasser.

Die Tiefenvariation wurde basierend auf mittleren Wasserspiegellagen und Sohlhöhen von 1898 und 2004 ermittelt. Als statistisches Maß zur Charakterisierung der Tiefenvariation ist die Standardabweichung geeignet. An der Binnenelbe wurde die Standardabweichung über Bewertungsabschnitte mit äquidistanter Länge (hier 5 km) bestimmt. Durch dieses Vorgehen werden übergeordnete Trends innerhalb der Variabilität der Tiefe entlang der Flussachse gut abgebildet. Die Berechnung wurde sowohl für den historischen Zustand als auch für den rezenten durchgeführt. Für weitere Erläuterungen zur Ermittlung der Tiefenvariation siehe auch QUICK et al. 2012, KOENIG et al. 2012 und ROSENZWEIG et al. 2012.

Mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz

Zur Ermittlung der mittleren Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz wurde die Differenz aus den historischen Sohlhöhen und den Flächenpeilungen des Ist-Zustandes ermittelt. Diese kann entweder als Absolutwert in m oder als Durchschnittswert in cm/Jahr angegeben werden. Das Verhältnis der Unsicherheiten bei der Auswertung von Sohlpeilungen in Relation zu der Größe des Messsignales (Sohlhöhenänderung) nimmt mit der Länge des Zeitraumes, über den verglichen wird, ab (QUICK et al. 2012, BUSCH et al. 2013). Auf Basis der vorliegenden digitalen Datengrundlagen können aus den Zeiträumen 1993-1999 und 2004-2010 mit den historischen Daten von 1898 lange Vergleichszeiträume für die Gesamtstrecke der Binnenelbe gebildet werden.

Um eine bessere Analyse der Daten zu ermöglichen, Trends erkennen zu können und um die erlangten Ergebnisse für die 586 Laufkilometer darstellen zu können, wurde für äquidistante Abschnitte von 5 km ein gleitendes Mittel gebildet. Die mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz wurde basierend auf den angegebenen Datengrundlagen (vgl. oben) folgendermaßen berechnet:

$$Bew_SH = \left(\frac{h_{Ist} - h_{Ref}}{n} \right) * 100$$

Bew_SH = Bewertung Sohlhöhenänderung in cm/a

h_{Ist} = Wert der Sohlhöhe im Ist-Zustand, Angabe als Höhe ü. NN in m

h_{Ref} = Wert der Sohlhöhe im Referenz-Zustand, Angabe als Höhe ü. NN in m

n = Anzahl der Jahre zwischen Referenz-Zustand und Ist-Zustand

Nähere Informationen zur Methodik und zu den Ergebnissen finden sich in QUICK et al. (2012), KÖNIG et al. (2012) sowie ROSENZWEIG et al. (2012). Berechnungen der Sedimentbilanz wurden unterstützend ebenfalls durchgeführt. Weitere Erläuterung dazu werden im BfG-Bericht: „Sedimenttransport und Flussbettentwicklung der Elbe“ dargestellt (BfG 2013).

3 Ergebnisse

Breitenvariation

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Gewässerbreiten der Elbe im historischen und im rezenten Zustand. Ersichtlich ist die erwartungsgemäß größere und heterogene Breitenvariation im historischen Zustand als auch die etwas größere durchschnittliche Gewässerbreite. Die sehr große Breitenvariation im historischen Zustand von km 195-208, km 300-323 und km 361-378 resultiert aus ehemals vorhandenen, durchflossenen Nebenarmen und Verzweigungen, die im Rahmen der Ausbaumaßnahmen vom Gewässerlauf abgeschnitten wurden (s. Kap. 2). Abbildung 4 zeigt die berechnete Breitenvariation für den rezenten und historischen Zustand. Beispielsweise resultieren gleich große bzw. größere Breitenvariationen im Ist-Zustand aus Wiederanbindungen von Altarmen oder Strombaumaßnahmen (ROSENZWEIG et al. 2012).

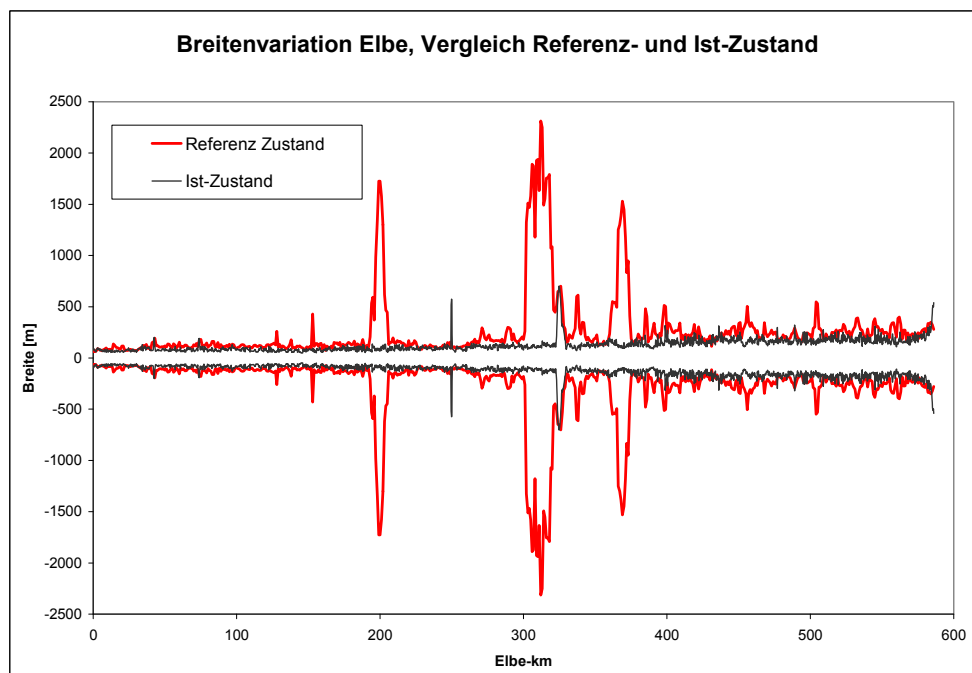


Abb. 3: Idealisierter Verlauf der maximalen Gewässerbreite der Elbe im historischen- und rezenten Zustand (Quelle: SSeM 2012) (Referenz: 1830/1850, Ist: DBWK2).

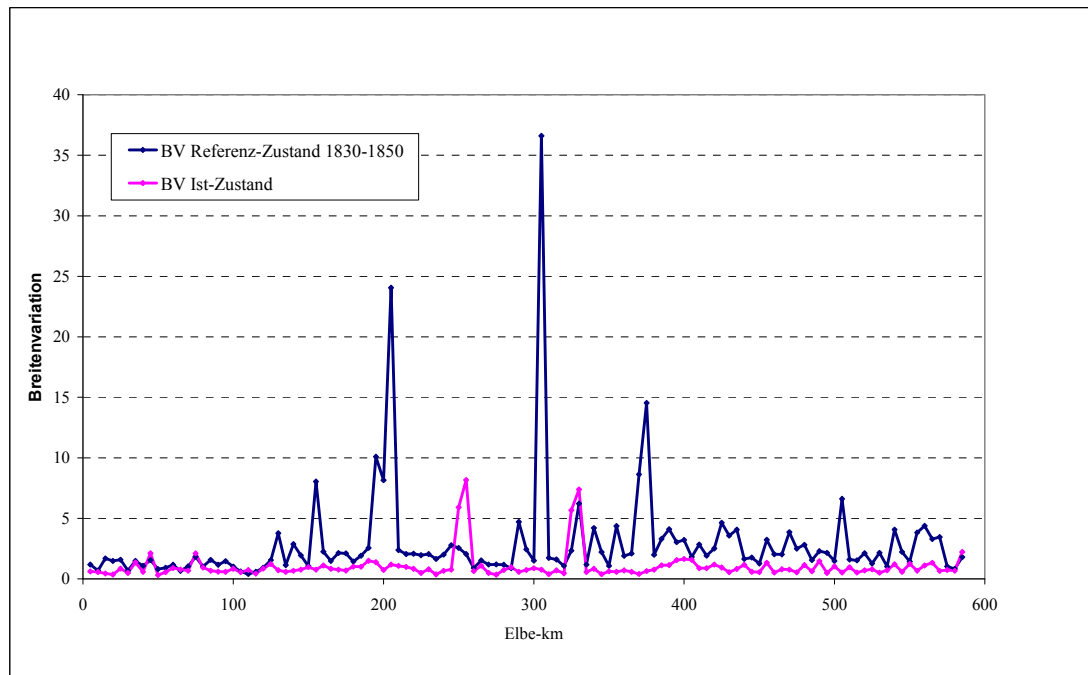


Abb. 4: Breitenvariation (BV) der Elbe im historischen und im rezenten Zustand (Quelle: SSeM 2012).

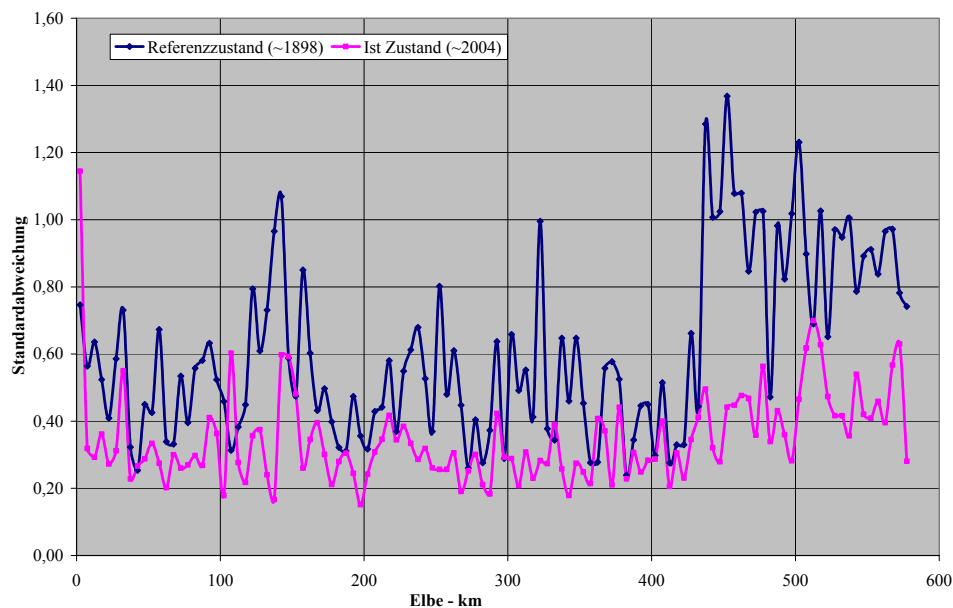


Abb. 5: Tiefenvariation der Elbe im historischen und rezenten Zustand (QUICK et al. 2012).

Tiefenvariation

Abbildung 5 zeigt die berechnete Standardabweichung der Tiefenvariation vergleichsweise im historischen und im rezenten Zustand. Die Tiefenvariation im historischen Zustand ist größer und heterogener als die vergleichsweise gleichförmigere Tiefenvariation im heutigen Zustand. Auffällig ist der Anstieg der historischen Tiefenvariation ab km 430. Laut KOENZEN

(2005) treten im Bereich der Havelmündung (km 428) „Mehrzeitenformen“ auf (untere Havelläufe und Elbverläufe aus unterschiedlichen Zeiten, Pleistozän und Holozän), die sich räumlich überlagern und vor allem bei Hochwasser miteinander korrespondieren. Da die Havel als Sedimentlieferant fungierte ist davon auszugehen, dass diese Strukturen einen erheblichen Einfluss auf die Gewässersohle und somit auf die Tiefenvariation im historischen Zustand hatten. Diese Transportkörper sind auch heute ein dominierendes Strukturmerkmal in dem morphodynamisch aktiven Bereich der Elbe (QUICK et al. 2012). ROHDE (1971) beschreibt die Gewässersohle der Elbe zwischen km 430-520 als mobilen Sand mit Dünen mit einer Geschwindigkeit von ca. 300-500 m/Jahr. Heutzutage ist das Relief der Gewässersohle gegenüber dem historischen Zustand deutlich schwächer ausgeprägt. Des Weiteren stellen die Daten von 1898 im Abschnitt unterstrom km 430 einen recht natürlichen Zustand dar, da größere Regulierungs- und Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt nicht vor dem zweiten Weltkrieg begannen (KÖNIG et al. 2012).

Mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz

Die Bundeswasserstraße Binnenelbe ist mit ihrer defizitären Sedimentbilanz mittel- bis langfristig erosionsgeprägt. Nach QUICK et al. (2012) ließen sich hinsichtlich der mittleren Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz an der Binnenelbe für einen 106 Jahre langen Zeitraum maximale Eintiefungsraten von ca. 2 cm/Jahr dokumentieren. Dies entspricht einer Eintiefung von bis zu 2 m im Zeitraum zwischen 1898 und 2004 und verdeutlicht das an der deutschen Binnenelbe in den überwiegenden Abschnitten vorherrschende Sedimentdefizit, welches sich erheblich auf die hydromorphologische Entwicklung und weitere Parameter auswirkt.

Abbildung 6 zeigt die mittlere Sohlhöhenänderung. Negative Werte zeigen eine Eintiefung/Erosion, positive Werte eine Anlandung/Sedimentation an. Die Auswertungen weisen auf eine überwiegende Erosionstendenz im Bereich der Binnenelbe hin, wobei in der Strecke zwischen km 75 (Radebeul/Meißen) und km 370 (Parey/Bittkau) die Eintiefung deutlich überwiegt (für einen rund 300 km langen Streckenbereich der Binnenelbe ergibt sich eine mittlere Erosionsrate von ca. 1-1,25 cm/a, Abb. 6) und die übrige Strecke wechselnde Vorzeichen der Sohlhöhenänderung aufweist und eher ausgeglichen erscheint. Bei der Betrachtung über den 106 Jahre langen Zeitraum fallen die Unsicherheiten der Einzelmessungen nicht mehr ins Gewicht (s. o. und s. QUICK et al. 2012, BUSCH et al. 2013). Eine ähnliche mittlere Erosionsrate wie für den 106 Jahre langen Zeitraum ergibt sich aus den Auswertungen für die letzten Jahrzehnte. Über kürzere Zeiträume stellen sich Differenzkurven jedoch generell mit größeren Schwankungen dar. Aus diesem Grund und da sich die bedeutende Entwicklung der über lange Zeiträume erfolgten Entkopplung zwischen Flussschlauch und Aue im Parameter Sohlhöhenänderung niederschlägt, liegt der hydromorphologischen Bewertung dieses Indikatorparameters der lange Vergleichszeitraum zugrunde.

Der Vergleich der Sohlhöhendifferenzen über verschiedene Zeiträume zeigt, dass die Sohlhöhendifferenz lokal voneinander abweicht, in der großräumigen Gesamtansicht jedoch keine Minderung der Eintiefungstendenz zwischen dem Zeitraum von 1898 bis 2004 und den letzten beiden Jahrzehnten erkennbar ist. Aus dem ehemals als „Erosionsstrecke“ bekannten Bereich hat sich der Schwerpunkt tendenziell nach unterhalb der Elstermündung verlagert (VOLLMER & SCHRIEVER 2004, BMVBW 2005, GABRIEL et al. 2011).

Die langfristige Entwicklung des Wasserstandes (im Niedrigwasserbereich) folgt der langfristigen Entwicklung des Flussbettes und wurde zusätzlich zur Absicherung der verwendeten Datengrundlagen einbezogen (vgl. Abb. 6). Auf einer Zeitskala von 100 Jahren lässt sich anhand der Differenz der Niedrigwasserspiegellinien die Erosionsrate in der Elbe bereits sehr genau ermitteln. Die Ergebnisse stimmen mit Untersuchungen von FAIST (1992) überein, der z. B. am Pegel Magdeburg-Rothensee (Elbe km 333) einen Absink des Niedrigwasserspiegels um 1,42 m zwischen 1893 und 1964 und um 0,16 m zwischen 1964 und 1990 feststellte.

Zwischen Elbe km 330-420 zeigt der Vergleich der Sohlhöhen- und Niedrigwasserspiegeldifferenz einen Anstieg der mittleren Wassertiefe bei Niedrigwasser, unterstrom der Havelmündung bei Elbe km 428 dagegen einen Absink (vgl. Abb. 6).

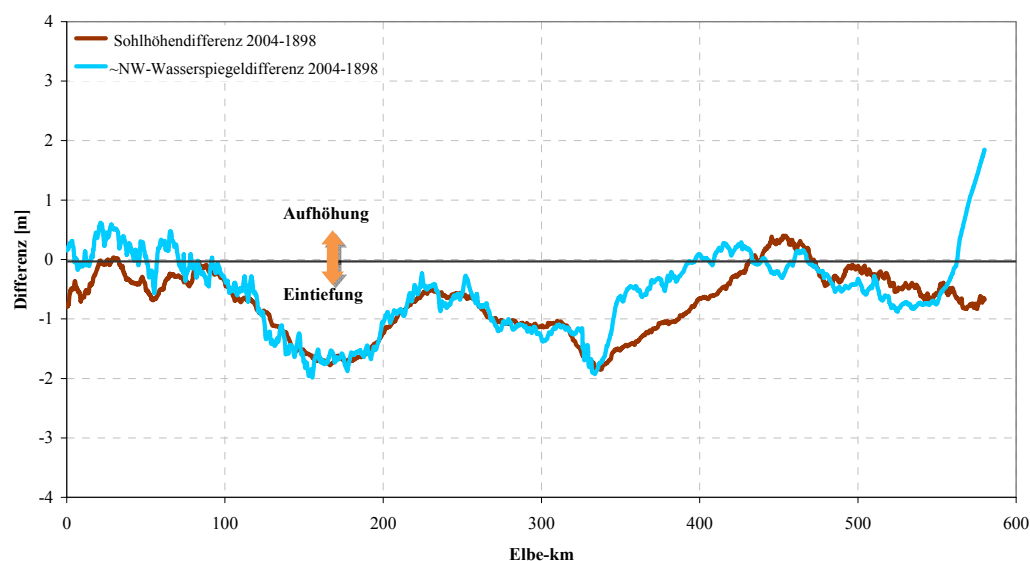


Abb. 6: Vergleich der Sohlhöhen- und Wasserspiegeldifferenz zwischen 1898 und 2004 (QUICK et al. 2012, KOENIG et al. 2012).

4 Fazit

Die hydromorphologische Entwicklung der deutschen Binnenelbe wurde mithilfe von unterschiedlichen Vergleichen zwischen historischen (Referenz-Zustand) und rezenten Zuständen (Ist-Zustand) anhand der Parameter Breitenvariation, Tiefenvariation und mittlere Sohlhöhenänderung - Sedimentbilanz dargestellt.

Die historische Dokumentation der Uferbereiche, Bank- und Insellagen etc. zur Ermittlung der Breitenvariation im Referenz-Zustand aus dem Zeitraum 1830/1850 (ROMMEL et al. 2012) stellt erstmals eine solche Rekonstruktion der historischen Verhältnisse für die gesamte deutsche Binnenelbe dar und ist als Datengrundlage zur Ermittlung der Breitenvariation sehr gut geeignet. Die Verringerungen der Breiten- und Tiefenvariation im rezenten Zustand gegenüber den Referenz-Zuständen (s. Kap. 3) stehen in Wechselwirkung mit verschiedenen anderen hydromorphologischen Parametern (z. B. Sedimentdurchgängigkeit, Korngrößenverteilung des Sohls substrats oder Uferstruktur, s. auch KÖNIG et al. 2012). Aber auch verschiedene weitere anthropogene Einflussfaktoren wie z. B. Landnutzung, Ufersicherungen, Buhnenbau etc. beeinflussen die erfolgten Veränderungen hinsichtlich der Breiten- und Tiefenverhältnisse.

Im Bereich der deutschen Binnenelbe wurde mit dem Elbstromwerk (Elbstrombauverwaltung 1898) der hydromorphologische Gewässerzustand umfassend dokumentiert. Eine solch präzise historische Beschreibung eines gesamten Flusslaufes liegt äußerst selten vor; ein Vergleich mit einem noch älteren Referenz-Zustand kann aufgrund fehlender Daten für die gesamte Binnenelbe nicht durchgeführt werden. Die plausiblen und nachvollziehbaren Ergebnisse zeigen jedoch, dass das Elbstromwerk einen ausreichenden Referenz-Zustand darstellt, um den hydromorphologischen Zustand der Binnenelbe zu bestimmen und die hydromorphologische Entwicklung wie z. B. der Tiefenvariation und der mittleren Sohlhöhenänderung zu recherchieren und quantitativ zu beurteilen.

Anhand der Sohlhöhenänderungen können z. B. Erosions- oder Akkumulationstendenzen ausgewiesen werden, aus denen abgeleitet werden kann, inwiefern sich Änderungen des ursprünglichen Lebensraumes vorkommender Arten ergeben (vgl. auch NOACK 2012). Zudem hat eine lang anhaltende Sohleintiefung („Erosionsstrecke“ der Elbe) z. B. durch eine Entkopplung von Gewässer und Aue direkte Auswirkungen auf die Umwelt. Sinkende Flusswasserspiegel und daran gekoppelte Grundwasserstände sowie verringerte Überflutungsdauern und -tage führen langfristig zu einem Verlust von intakten Auen.

Literatur

- BMVBW (2005): Grundsätze für das Fachkonzept der Unterhaltung der Elbe zwischen Tschechien und Geesthacht mit Erläuterungen, Bonn 2005.
- BfG (2013): Sedimenttransport und Flussbettentwicklung der Elbe. Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. (in Bearbeitung).
- BUSCH, N., S. VOLLMER, M. HATZ (2013): Neue Auswertemethode zum Nachweis von Wasserstandsänderungen im Zusammenhang mit der morphologischen Entwicklung an Bundeswasserstraßen – dargestellt am Beispiel der Mittleren Elbe. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 57. Jahrgang, Heft 1, S. 4-13.
- BUWAL (Schweizerisches Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26. Bern.
- Elbstrombauverwaltung (Hrsg.) (1898): Der Elbstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse (Elbestromwerk) – Reimer, Berlin. Mehrere Bände und Atlas.
- FAIST, H. (1992): Zur Sohlenerosion der Elbe, Zeitschrift für Binnenschifffahrt, No. 6, März 1992.
- GABRIEL, T., E. KÜHNE, P. FAULHABER, M. PROMNY, P. HORCHLER (2011): Sohlenstabilisierung und Erosionseindämmung am Beispiel der Elbe, WasserWirtschaft, Heft 06/2011.
- HAUER, C., G. UNFER, H. HABERSACK, U. PULG, J. SCHNELL (2013): Bedeutung von Flussmorphologie und Sedimenttransport in Bezug auf die Qualität und Nachhaltigkeit von Kieslaichplätzen, Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr. 4, 2013, S. 189-197.
- HEININGER, P. (2012): Sedimentmanagement als Aufgabe der integrierten Flussgebietsbewirtschaftung. In: Die Elbe und ihre Sedimente, Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, Tagungsband, Hamburg: S. 78-81.
- IKSE (2009): Internationaler Bewirtschaftungsplan für die Flussgebietseinheit Elbe nach Art. 13 WRRL, Magdeburg.
- IKSE (2013): Sedimentmanagementkonzept der IKSE/FGG - Vorschläge für eine gute Sedimentmanagementpraxis im Elbegebiet zur Erreichung überregionaler Handlungsziele der IKSE/der FGG. Magdeburg. (in Bearbeitung).

- JÄHRLING, K.-H. (2012): Die Bedeutung des Feststoffhaushaltes für die Gewässerstruktur und Morphodynamik der Elbe – Grundlagen, Maßnahmen, Kompromisse. In: Die Elbe und ihre Sedimente, Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, Tagungsband, Hamburg: S. 41-46.
- KLIMENT, V. (2012): Sedimentmanagement im Rahmen der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe. In: Die Elbe und ihre Sedimente, Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, Tagungsband, Hamburg: S. 82-83.
- KOENIG, F., I. QUICK, S. VOLLMER (2012): Defining quantitative morphological changes in large rivers for a sustainable and effective sedimentmanagement applied to the River Elbe, Germany. Proceedings Tenth International Conference of Hydrosience and Engineering, November 2012, Orlando, USA.
- KOENZEN (2005): Fluss- und Stromauen in Deutschland – Typologie und Leitbilder. Angewandte Landschaftsökologie Heft 65. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg.
- LAWA (2000): Gewässerstrukturgütekartierung in der BRD. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. Empfehlung Oberirdische Gewässer. Schwerin.
- NOACK M. (2012): Modelling Approach for Interstitial Sediment Dynamics and Reproduction of Gravel Spawning Fish, Institute for Modelling Hydraulic and Environmental Systems, University of Stuttgart, Germany.
- QUICK, I. (2012): Sediment management concept with special regard to hydromorphological aspects. In: Die Elbe und ihre Sedimente, Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, Tagungsband, Hamburg: S. 167-168.
- QUICK, I., N. CRON, S. SCHRIEVER, F. KÖNIG, S. VOLLMER, S. (2013): Die Bedeutung der Sedimente für die Ausprägung der Hydromorphologie großer Fließgewässer als unterstützende Komponente für die Zielerreichung nach Wasserrahmenrichtlinie. In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie – Erweiterte Zusammenfassungen 2012, Hamburg, Berlin (im Druck).
- QUICK, I., F. KÖNIG, C. SVENSON, N. CRON, S. SCHRIEVER, S. VOLLMER (2012): Hydromorphologische Bewertung und Praxisprojekte mit Schnittstelle zur Ökologie. In: Veranstaltungen 6/2012 „Hydro-ökologische Modellierungen und ihre Anwendungen“, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 43-62.
- ROHDE, H. (1971): Eine Studie über die Entwicklung der Elbe als Schifffahrtstraße, Mitteilungen des Franzius – Instituts für Grund- und Wasserbau der Technischen Universität Hannover.
- ROMMEL, J., M. HATZ, N. BUSCH (2012): Recherche und Aufbereitung von Inhalten historischer Karten der Elbe zur Nutzung in der Flusshydrolog. Software FLYS. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1724, Koblenz.
- ROSENZWEIG, S., I. QUICK, N. CRON, F. KÖNIG, S. SCHRIEVER, S. VOLLMER, C. SVENSON, D. GRÄTZ (2012): Hydromorphologische Komponenten im Flussauenmodell INFORM - Entwicklung und Anwendung der morphologischen Systemkomponente MORPHO und des Bewertungsmoduls Valmorph zur quantitativen Erfassung und Bewertung hydromorphologischer Veränderungen in Fluss und Aue. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1657, Koblenz.
- SCHIEMER, F., T. SPINDLER, H. WINTERSBERGER, A. SCHNEIDER, A. CHOVANEC (1991): Fish dry associations: Important indicators for the ecological status of large rivers. In: Theor. angewandte Limnologie 24: S. 2497-2500.
- SIMON M. (2010): Untersuchungen zu anthropogenen Beeinträchtigungen der Wasserstände am Pegel Magdeburg-Strombrücke. Potsdam Institute For Climate Impact Research (PIK). No. 118. Potsdam.
- SSeM (2012): Ad-hoc AG Schadstoffe/Sedimentmanagement (SSeM) der AG OW der FGG. Nationale Spiegelgruppe der IKSE-EG Sedimentmanagement zur Erarbeitung des Sedimentmanagementplans für die Elbe. [in Bearbeitung]
- VOLLMER, S., I. QUICK, H. MOSER (2012): Sedimenthaushalt und Managementaspekte der Binnenwasserstraße Elbe. In: Die Elbe und ihre Sedimente. Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, Tagungsband. Hamburg: S. 34-37.
- VOLLMER, S., S. SCHRIEVER (2004): Feststofftransport und Flussbettentwicklung der Elbe“, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1431, Koblenz.



Kontakt:

Dr.-Ing. Stefan Vollmer

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5481

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: vollmer@bafg.de

Jahrgang: 1971

1991-1999

Studium Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen

1999-2003

Doktorand an der Universität Karlsruhe (TH)

seit 2003

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt
für Gewässerkunde

Aufgaben:

2003-2009: Ansprechpartner für die Gewässer-
morphologie

seit 2010: Referatsleitung M3 “Grundwasser,
Geologie, Gewässermorphologie”



Dr. rer. nat. Ina Quick

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5193

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: quick@bafg.de



Dr.-Ing. Frauke König

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5959

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: frauke.koenig@bafg.de

Wechselspiel von Geschiebetransport und Regelungssystem an der deutschen Binnenelbe

Petra Faulhaber

1 Einleitung

Ausgehend von einer kurzen Beschreibung des Regelungssystems der deutschen Binnenelbe mit seinen unterschiedlichen Charakteristika werden Beispiele für Wechselwirkungen zwischen Regelungssystem und Geschiebetransport aufgezeigt.

2 Regelungssystem und Geschiebetransport

Die Gestalt der schiffbaren Flüsse in Deutschland ist historisch gewachsen. Das Gewässerbett der deutschen Binnenelbe erhielt im Wesentlichen im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts die heutige Gestalt. Vorher war bereits das Hochwasserbett durch Deichbau begrenzt und das Gewässerbett aus landeskultureller Sicht (u. a. Uferschutz, Vorflut) verändert worden (siehe FAULHABER 2013). Vorrangig zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse wurde das Mittel- und abschnittsweise auch das Niedrigwasserbett nach einheitlichen Vorgaben eines großräumigen Konzeptes mit flussbaulichen Maßnahmen (u. a. mit Regelungsbauwerken wie Buhnen, Längswerken, Schwellen und Geschiebemanagement) gestaltet. Eine Anpassung des Hochwasserbettes war teilweise vorgesehen, wurde aber nur in wenigen Fällen umgesetzt. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts entstand so ein Regelungssystem, das die Elbe zwischen tschechisch-deutscher Grenze (El-km 0) bis zur 1960 in Betrieb genommenen Staustufe Geesthacht (El-km 586) als frei fließenden Fluss erhielt.

Mit einem Regelungssystem werden verschiedene flussbauliche Ziele erreicht. An der Elbe behindern vor allem geringe Wassertiefen in langen Niedrigwasserperioden sowie abschnittsweise ein wechselnder Fahrrinnenverlauf die Schifffahrt. Das Regelungssystem bildet deshalb insbesondere bei Mittel- und Niedrigwasser die Basis für einen verkehrlich und morphologisch verlässlichen Zustand.

Dem Regelungssystem lagen vereinfachte Annahmen der Gewässerparameter zugrunde. Für bestimmte Gefälle, Rauheiten, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten wurden planerische Sollzustände der Profilquerschnitte (sog. Normal- oder Regelprofil) und des Uferverlaufs (Streichlinien) bei Mittelwasser vorgegeben. Um das Regelungssystem entlang des Stromes entsprechend der Ziele umzusetzen und zu pflegen, werden Hilfsmittel wie Bezugshöhen und Normalbreiten (Abstand der Streichlinien) festgelegt (Abb. 1).

In der Interaktion der Ufer (inkl. Bauwerken) mit der Strömung und dem Feststofftransport prägt der Fluss die Gewässerparameter aus, die um diese Sollvorgaben schwanken. Die Parameter des Regulationssystems stellen eine Basis dar, die ggf. bei lokalen Besonderheiten modifiziert werden kann. Gleichwohl lässt sich die gewünschte Wirkung des Regulationssystems nur erzielen, wenn es großräumig ausreichend umgesetzt ist und gepflegt wird.

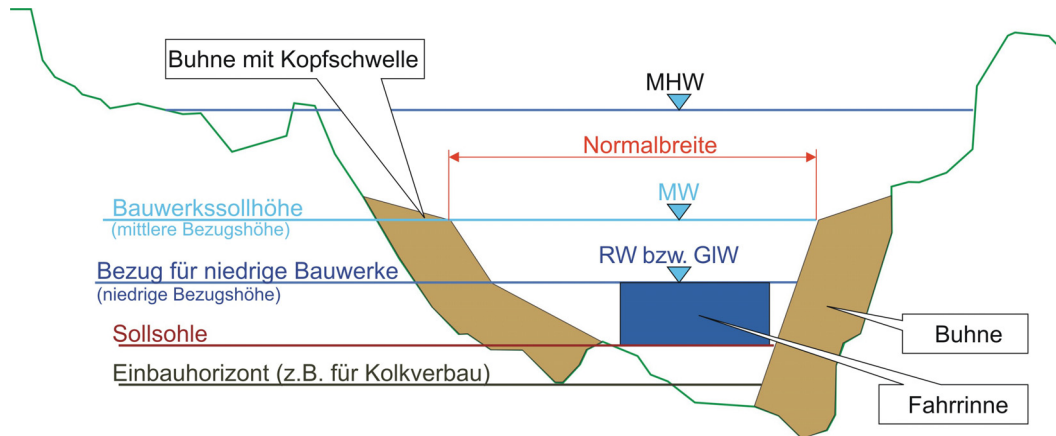


Abb. 1: Beispiele für Parameter des Regulationssystems (stark überhöhter Querschnitt)

Der Fluss transportiert mit dem Wasser auch Feststoffe. Das Material, das in dauerndem oder zeitweiligem Kontakt mit der Sohle bewegt wird, gestaltet das Flussbett. Für die Mittelelbe sind Geschiebe und ein Anteil des suspendierten Sandes (nach SAUER & SCHMIDT 2001) für die Ausbildung des Bettes als maßgeblich anzusehen.

Ein Regulationssystem kann bei beweglicher Sohle nur mit dem Fluss gestaltet werden. Die Realisierung des Regulationssystems ist deshalb nach Beendigung des eigentlichen Ausbaus nicht abgeschlossen. Die Anpassung des Flusses an die geänderten Randbedingungen (morphologischer Nachlauf) dauert – je nach Ausmaß der Änderung – bis zu mehrere Jahrzehnte.

Mitunter wurden die Anpassungsreaktionen des Flusses infolge unterschiedlicher Maßnahmen über die Zeit und komplexer natürlicher Randbedingungen in der Planung nicht ausreichend vorhergesehen. So ist an der Elbe abschnittsweise eine anhaltende Sohleneintiefung zu verzeichnen, die Gegenmaßnahmen auch in Form einer Anpassung des Regulationssystems erforderlich macht. In dem Abschnitt zwischen El-km 121 und 291 (sog. Erosionsstrecke) ist eine Anpassung an den morphologischen Nachlauf durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) in Form einer dynamischen Stabilisierung der Sohle geplant (Sohlstabilisierungskonzept, siehe GABRIEL 2010) – siehe Abb. 6.

Die Schifffahrtsbedingungen werden durch das Regulationssystem und ergänzende Geschiebemanagement gewährleistet. In Strecken mit Geschiebetransport wird durch die Regulationssysteme (und andere Bauwerke wie z. B. Deiche) der Geschiebahaushalt mittelbar (indirekt) beeinflusst.

Darüber hinaus können zum einen die Anpassungsreaktionen des Flusses mit Geschiebemanagement unterstützt werden, zum anderen wird Geschiebemanagement dort eingesetzt, wo bauliche Maßnahmen nicht realisiert werden können oder nicht ausreichen. Beispielsweise kann häufig das Hochwasserbett nicht so verändert werden, dass ein gleichmäßi-

ger Geschiebetransport gewährleistet wird. Gerade in den Abschnitten der Elbe mit beweglicher Sohle (etwa unterhalb El-km 200) wird diese regelmäßig durch Hochwasser umgestaltet und erst im Verlaufe der mittleren und niedrigen Wasserstände langsam wieder "abgeschliffen".

Unter Geschiebemanagement versteht man Maßnahmen zur unmittelbaren (direkten) Beeinflussung des Geschiebehaushaltes, d. h. anthropogene Geschiebeumlagerungen sowie die Geschiebezugabe und -entnahme.

Bei Geschiebeumlagerungen wird das entnommene Material i. d. R. in der Nähe der Entnahmestelle im Gewässerbett wieder eingebracht. Bei einer Geschiebezugabe hingegen wird hauptsächlich Material von außerhalb des Gewässerbetts dem Fluss zugeführt. Etwa seit den 1990er-Jahren wird der Elbe auch in Anlandungsbereichen wie dem Stauraum der Staustufe Geesthacht kein Material mehr aus dem Fluss entnommen.

Verkehrliche Unterhaltungsmaßnahmen zielen auf den Erhalt des vorhandenen, unvollständigen Zustandes. Da Ausbauvorhaben, die eine Ergänzung des bestehenden Regelungssystems und seine Anpassung an Adaptionsprozesse vorsahen, nach dem Hochwasser 2002 gestoppt wurden, können derzeit Mängel des Regelungssystems kaum behoben werden. Wirkungen der mangelhaften Regelung werden durch Geschiebemanagement abgemildert.

3 Charakteristika der Elbe

Die deutsche Binnenelbe weist sehr unterschiedliche Charakteristika hinsichtlich Regelungssystem und Geschiebetransport auf. Neben der Unterteilung der Elbe in Ober- und Mittelelbe am El-km 96 (Schloss Hirschstein, siehe IKSE 2005), an dem die Elbe aus dem Gebirge in das Flachland eintritt, ist deshalb eine wasserbaulich-morphologische Einteilung der Elbe nach GLAZIK (1963) hilfreich. Diese berücksichtigt die unterschiedliche Regelung, die oberhalb von El-km 120,98 überwiegend mit Längswerken und Schwellen und unterhalb mit Bühnen (und Deckwerken in Krümmungen) das Mittelwasserbett gestaltet. Diese unterschiedliche Regelung ist nicht nur einer ehemaligen Verwaltungsgrenze geschuldet, sondern berücksichtigt hydraulische und morphologische Besonderheiten.

In Abb. 2 werden im Längsschnitt die unterschiedlichen Gefälle entlang der Elbe deutlich. Unter Vernachlässigung lokaler Störungen – großer Kolk an der tschechisch-deutschen Grenze, bei El-km 34 (unbekannte geologische Gründe), bei El-km 325 bis 330 (Felsen im Bereich der Magdeburger Stadtstrecke) – fällt der Wechsel des Sohlgefälles ca. bei El-km 150 ins Auge. Der Torgauer Felsen selbst (bei El-km 154) ist im Längsschnitt nicht zu identifizieren, da das Gefälle dort in den 1990er-Jahren mit Grundswellen ausgeglichen wurde.

Bis etwa El-km 130 ist die sog. Deckschicht der Sohle deutlich grober als die darunter liegende Schicht. Unterstützt durch eine abschnittsweise Regelung mit Grundswellen hat sich die Sohle hier weitgehend selbst statisch stabilisiert. Unterhalb etwa El-km 200 ist die Kornzusammensetzung mit lokalen Ausnahmen einheitlicher und entspricht der des Geschiebes.

Aus dem tschechischen Abschnitt der Elbe und aus den Nebenflüssen des Oberlaufes wird in den meisten Jahren wenig Material in die Elbe eingetragen. Zwischen tschechisch-deutscher Grenze und etwa Torgau wird kaum Geschiebe transportiert. Eine geringe Menge von feinkörnigem Transitgeschiebe läuft über die grobe Sohle. Nur bei großen Hochwassern wird

lokal Material aus der Sohle herausgelöst und in Transport gebracht. Eine Besonderheit stellte hier das Sommerhochwasser 2002 dar. Sowohl in der Aue (z. B. Stadtbereich Dresden) als auch im Fluss wurde nach dem Hochwasser aus Nebenflüssen eingetragenes und im Fluss mobilisiertes Material gebaggert. Das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Dresden führte das gebaggerte Material im Bereich der Erosionsstrecke dem Fluss wieder zu.

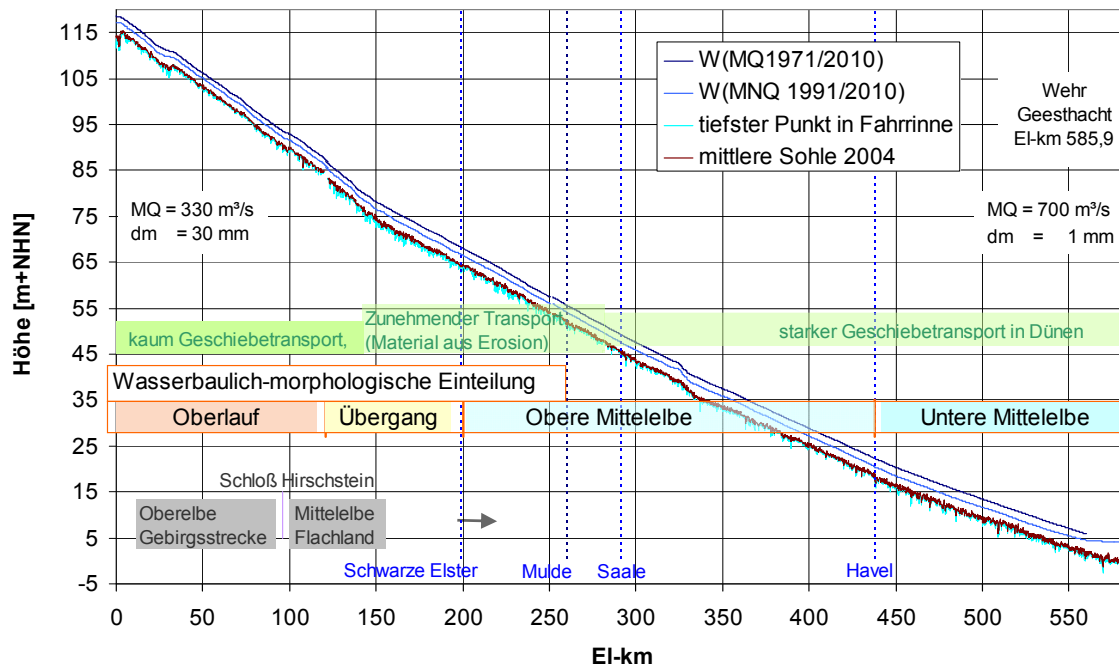


Abb. 2: Längsschnitt der deutschen Binnenelbe

In der wasserbaulich-morphologischen Einteilung wird zwischen Oberlauf und Mittelbe ein Übergangsbereich (bis zur Mündung der Schwarzen Elster, EI-km 198,5) eingefügt, in dem sich die Elbe vom Gebirgsfluss aus grobkörnigen, ursprünglich durch Geschiebezufuhr aus den Mittelgebirgen geprägten Elbeablagerungen zum Flachlandfluss in feinkörnigen, vornehmlich aus der sandigen Füllung der Urstromtäler gespeisten Flussbettsedimenten umformt. In diesem Übergangsbereich nimmt die Verfügbarkeit von Bestandteilen der Sohle, die in gewöhnlichen Jahren vom Fluss in Transport gebracht werden können, zu. Das aus der Sohle mobilisierte Material (Erosion) wird vom Fluss mit wachsender Geschiebemenge in nach Unterstrom größer werdenden Unterwasserdünen transportiert. Im Übergangsbereich wird vom WSA Dresden seit 1996 Ersatzgeschiebematerial zugegeben, um das Geschiebedefizit zu verringern. Geschiebetransport findet etwa unterhalb EI-km 200 bereits ab Niedrigwasser statt. Trotz langfristiger, großräumiger Erosion ist in einigen Abschnitten lokale Sedimentation zu beobachten. Unterhalb EI-km 438 wechselt die Lage des Talweges und damit der Fahrrinne im Verlaufe der Zeit häufiger als oberhalb.

Abb. 3 zeigt die Sohle während eines Hochwassers bei EI-km 477 oberhalb von Lenz und gibt einen Eindruck vom Geschiebetransport in übereinander wandernden Dünen unterschiedlicher Größe. Unterhalb der Krümmung ist die Strömungsführung bei EI-km 477,8 am linken Ufer mangelhaft. Wegen der fehlenden Buhnen wird hier die Anlandung, die bei Hochwasser entsteht, bei niedrigeren Abflüssen nur unzureichend abgetragen.

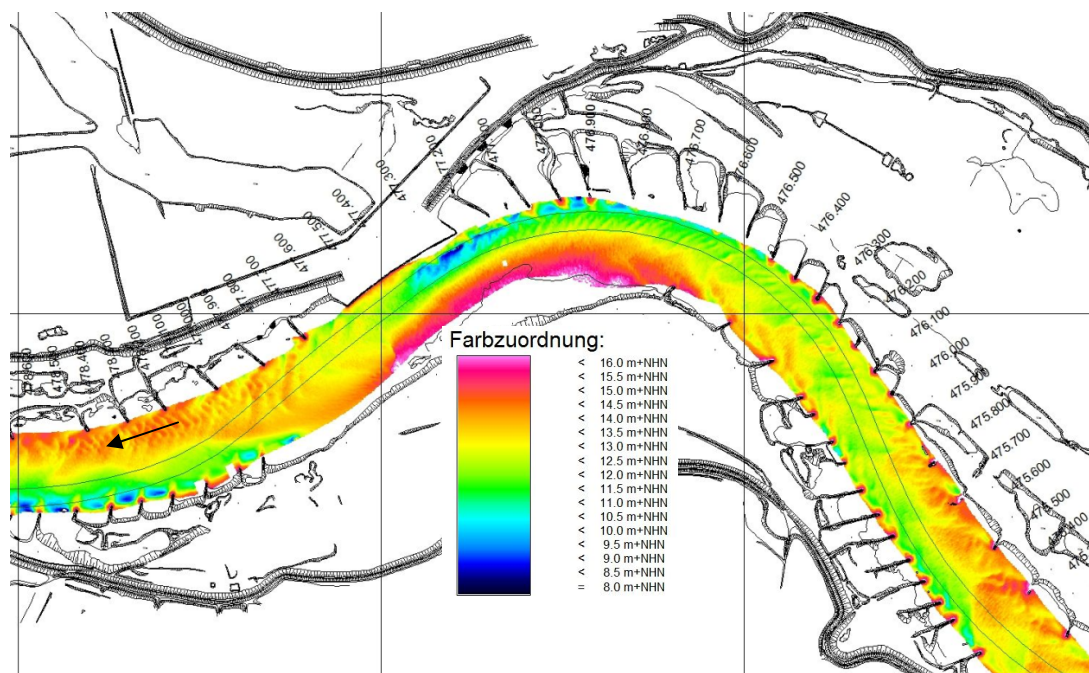


Abb. 3: Sohlpeilung des WSA Magdeburg, Januar 2011

4 Aspekte der Veränderungen hydraulischer Bedingungen an der Elbe

Um das Ziel der Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse zu erreichen, wurde eine Vergleichmäßigung der hydraulischen Parameter (z. B. Fließgeschwindigkeit, Gefälle) angestrebt. Dies ist weitestgehend gelungen (siehe FAULHABER 2000 und 2012). Vergleiche der mittleren Fließgeschwindigkeiten im Flussschlauch bei mittlerem Niedrigwasserabfluss (ca. MNQ, siehe Abb. 4) zeigen, dass diese für den Bettzustand des Jahres 2004 gleichmäßiger, aber leicht erhöht gegenüber 1885 sind. Die Ursachen für die Unterschiede zwischen 1885 und 2004 können knapp folgendermaßen beschrieben werden:

- > El-km 120-200: Adaption des Flusses an früheren Ausbau
- > El-km 200-320: Ausbau mit anschließender Adaption
- > El-km 390-570: Ausbau mit anschließender Adaption
- > >El-km 560: Stauwirkung des Wehres Geesthacht

Der Vergleich für den mittleren Niedrigwasserabfluss allein lässt jedoch keine Schlussfolgerungen auf Veränderungen im Geschiebehaushalt insgesamt zu. Kleine Abflüsse sind häufig, tragen aber wegen der vergleichsweise geringen Frachten nur wenig zur Jahresfracht bei. Dieser Zusammenhang soll in Abb. 5 aufgezeigt werden.

Die Frachten für den Sand- und Kiestransport entstammen Berechnungen mit einem eindimensionalen Feststofftransportmodell (FTM) der Erosionsstrecke (Kurzbeschreibung des FTM in ALEXU 2004 und PG Erosionsstrecke 2011). Die blaue Linie zeigt mit Bezug zur linken Ordinate die mittlere jährliche Häufigkeit der Abflüsse für die Jahresreihe 1971/2000 an. Die rechte Ordinate gibt für die Linie in Magenta die tägliche Sand-/Kiesfracht in Abhängigkeit vom Abfluss und für die orange Linie die mittlere Jahresfracht für Sand und Kies an.

Als bettbildender Bereich wird hier der Abflussbereich bezeichnet, der die mittleren 60 % zur Jahresfracht beiträgt. Bei El-km 185 liegt dieser Abflussbereich zwischen etwas unter Mittelwasser (MQ) und 2MQ. Da im Feststofftransportmodell nicht zwischen dem Sand, der in Kontakt mit der Sohle transportiert wird, und dem dauerhaft suspendierten Sand unterschieden werden kann, wird in der Natur der bettbildende Bereich etwas zu höheren Abflüssen hin verschoben sein.

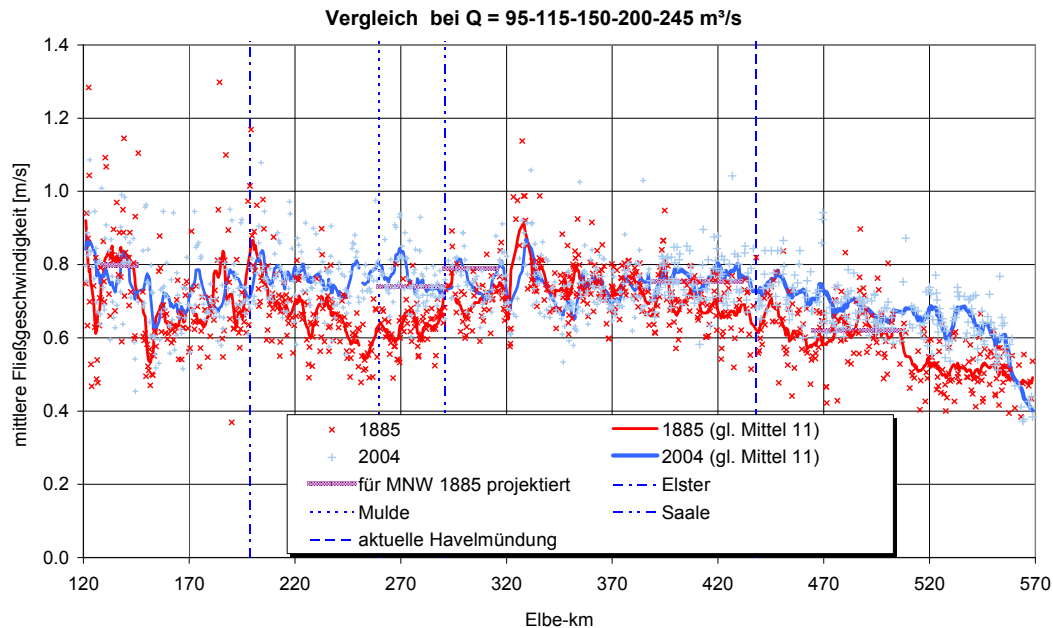


Abb. 4: Vergleich der mittleren Fließgeschwindigkeiten bei MNQ 1885 und 2004

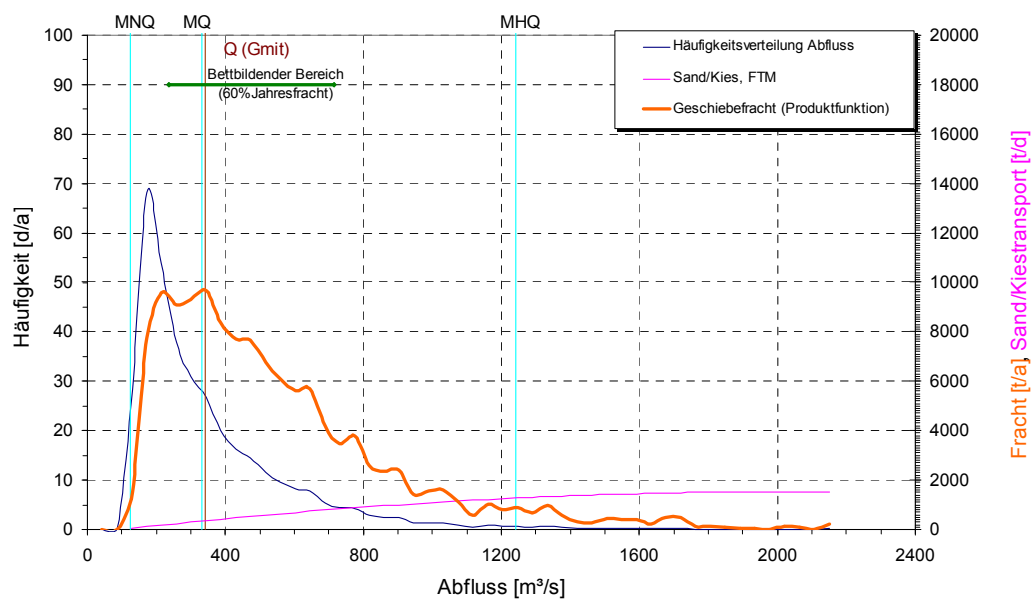


Abb. 5: Ermittlung „bettbildender Abflüsse“ für El-km 185, 1971/2000

Veränderte hydraulische und morphologische Bedingungen ergeben sich auch aus trendbehafteten Änderung der Höhe der Flusssohle. Schon im 19. Jahrhundert wurden in einigen Abschnitten großräumig anhaltende Eintiefung der Flusssohle – Erosion – und Sedimentation (z. B. unterhalb von Ausbaustrecken, in Buhnenfeldern) beobachtet. Seither gibt es viele Analysen unterschiedlicher Daten zu diesem Thema (u. a. in BAW 1996, FAULHABER 2012, VOLLMER et al. 2013 in diesem Heft), die sich gegenseitig ergänzen und die Bewertung der Vorgänge belastbar machen. Entsprechend der Veränderlichkeit der morphologischen Vorgänge unterscheiden sich die Schlussfolgerungen für verschiedene Zeiträume deutlich (siehe auch Abb. 6).

Abb. 6 zeigt die Entwicklung niedriger Wasserspiegel, die annähernd dem Sohlverlauf folgen, für die Zeit zwischen 1959 und 2008. Die Vielzahl der eingetragenen Linien zwischen 1993 und 2008 soll einen Eindruck von der Variabilität und Genauigkeit der Auswertungen geben.

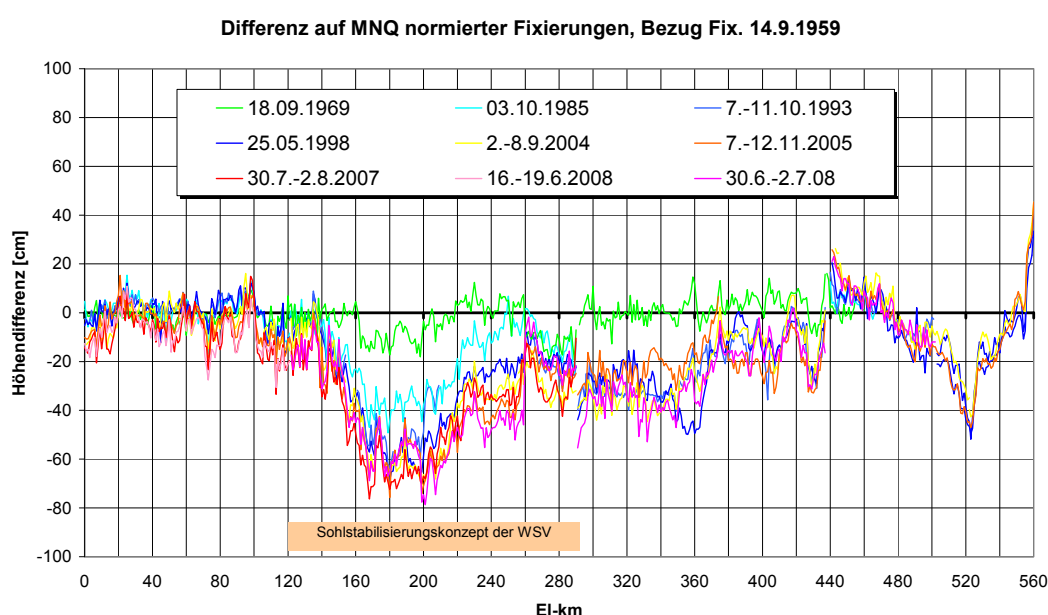


Abb. 6: Differenz normierter niedriger Wasserspiegel als Kriterium für die Sohlerosion zwischen 1959 und 2008

Die Tiefenerosion der Sohle muss u. a. bei der Pflege des Regulationssystems berücksichtigt werden. Durch die Eintiefung ändert sich bei lange bestehenden Bauwerken der Bezugsabfluss, bis zu dem die Regelungsbauwerke wirken. Wenn die Buhnen, die bis Mittelwasser den Abfluss bündeln sollen, nicht entsprechend der Sohleintiefung angepasst werden, wirken sie auch bei höheren Abflüssen stärker als vorgesehen. Dadurch erhöht sich das Feststofftransportvermögen des Flusses bei Abflüssen ab MQ; die Tiefenerosion wird ggf. verstärkt. Deshalb müssen die Bauwerke an die aktuellen Bezugswasserstände angepasst werden. Dabei sind die jeweilige Streckencharakteristika und – soweit möglich – auch künftige Prozesse zu berücksichtigen.

Die Situation wird in Abb. 7 für die Erosionsstrecke aufgezeigt. Insbesondere zwischen El-km 140 und 200 liegen viele Buhnenköpfe höher als der aktuelle langjährige Mittelwasserstand $W(MQ_{1971/2010})$. Einige Bauwerke sind seit ihrem Bau im 19. Jahrhundert – entsprechend dem damaligen Mittelwasserstand – nicht in der Höhe angepasst worden. Sie liegen bis über 1 m zu hoch. Die Anpassung ist baulich sehr aufwändig. Negative Differenzen zeigen Bauwerke mit schlechtem Unterhaltungszustand.

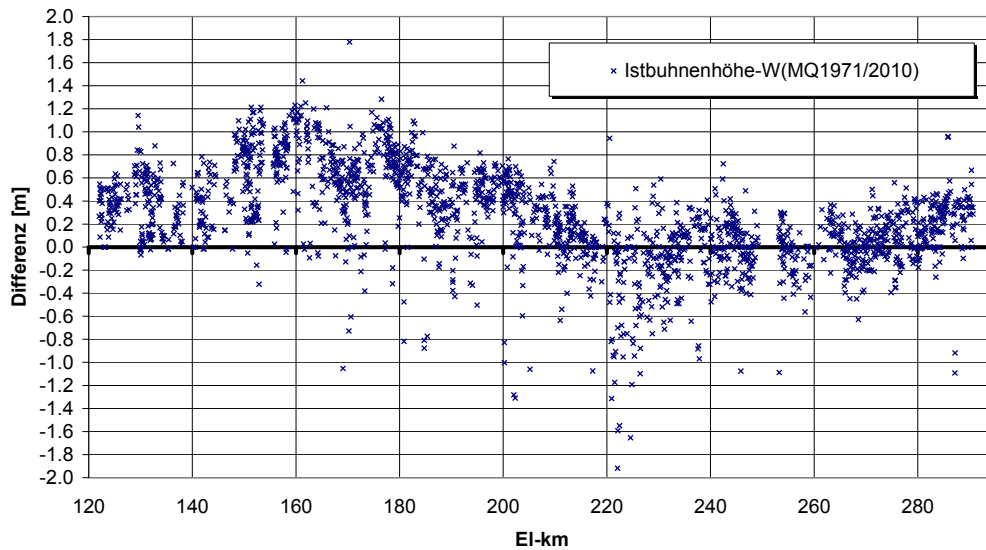


Abb. 7: Differenz der Isthöhe der Buhnenköpfe zur aktuellen Mittelwasserhöhe (1971/2010) in der Erosionsstrecke

5 Modelluntersuchungen zu Wirkungsmechanismen

Bevor Maßnahmen ergriffen werden, die auf den Geschiebetransport direkt oder indirekt einwirken, sind die voraussichtlichen Wirkungen abzuschätzen. Dies erfolgt auf der Basis von Naturbeobachtungen und -analysen, theoretischen Überlegungen, Naturversuchen sowie Modelluntersuchungen.



Untersuchungen an Maßstabsmodellen mit Geschiebetransport (Abb. 8) helfen neben der Quantifizierung von Variantenunterschieden dabei, Geschiebe-Transportvorgänge (hier für die Untere Mittelelbe) anschaulich zu machen. Die große Variabilität der wandernden, dreidimensionalen Dünen und die unterschiedlichen Wirkungen von Regelungsbauwerken auf den Geschiebetransport lassen sich im hydraulischen Modell mit beweglicher Sohle gut beobachten und analysieren (HENTSCHEL 2007).

Abb. 8: Maßstabsmodell mit Geschiebetransport bei El-km 510

Die langfristige und großräumige Veränderung des Feststofftransportes, der Wasserspiegel und mittleren Sohlhöhen werden mit eindimensionalen Feststofftransportmodellen (FTM) untersucht. Für den Übergangsbereich der Elbe (siehe Abb. 2) zeigt Abb. 9 die Auswertung der Berechnungen eines eindimensionalen FTM. Die Symbole zeigen bezogen auf die linke

Ordinate die Sand-/Kiesfracht in Abhängigkeit vom Abfluss für verschiedene Berechnungsschritte innerhalb von 50 Jahren für eine Station am Anfang (El-km 125) und am Ende (El-km 195) des Übergangsbereiches.

Innerhalb von 50 Jahren ist der Zusammenhang zwischen Abfluss sowie Sand- und Kiesfracht bei El-km 125 recht eindeutig. Wegen der geringen Geschiebeeinträge aus dem Oberlauf und geringer Materialaufnahme aus der Sohle (geringe aktuelle Erosion am Beginn des Übergangsbereiches) ändern sich die Frachten über die Zeit hier nur wenig. Anders sieht es bei El-km 195 aus.

Als Folge von Ungleichmäßigkeiten bei

- > Feststoffangebot,
 - > hydraulischen Bedingungen,
 - > Adaptionen des Flusses über die Zeit
- schwankt der Geschiebetransport sehr stark.

Bei El-km 195 ist nach der Ausuferung ein Rückgang der Frachten zu erkennen. Wenn die Vorländer zum Abführen des Abflusses herangezogen werden, verringern sich der Abflussanteil im Flussschlauch und damit die Transportkraft. Erst bei steigendem Abfluss nimmt die Transportkraft im Flussschlauch wieder zu.

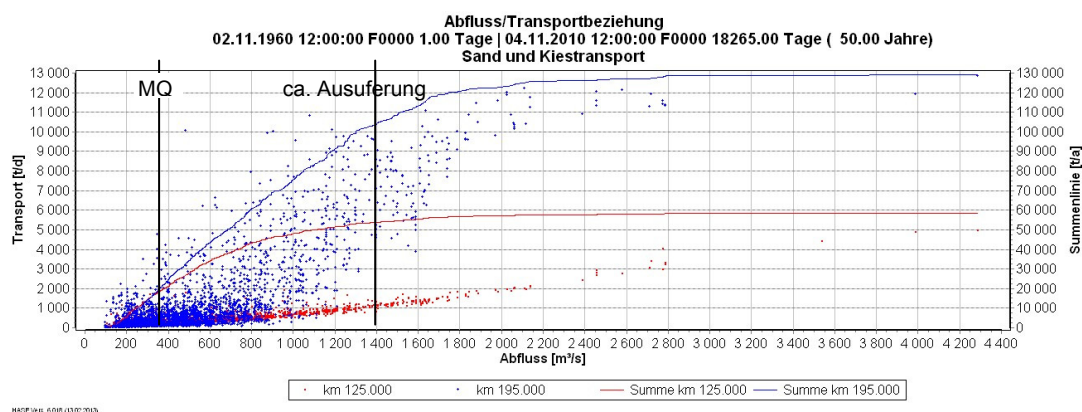


Abb. 9: Berechnungsergebnisse des eindimensionalen FTM für El-km 125 und 195 für den Sand-/Kiestransport

Zusätzlich ist auf der rechten Ordinate die Summenlinie der Frachten über 50 Jahre eingetragen. Die Differenz der Summen beider Stationen kann als Materialaufnahme in der Zwischenstrecke über 50 Jahre interpretiert werden. Gleichzeitig stützt die Darstellung die Interpretation zum bettbildenden Abfluss von Abb. 5. Kleine und große Abflüsse tragen nur wenig zur Gesamtfracht bei. Den größten Beitrag zur Gesamtfracht liefern die Abflüsse, für die der Anstieg der Summenlinie am steilsten ist. Das ist bei El-km 195 etwa zwischen MQ und Ausuferung der Fall.

Um die Wirkung einer Maßnahme unabhängig von den Besonderheiten der Strecken aufzuzeigen, werden Prinzipmodelle eingesetzt. Mit einem eindimensionalen Feststofftransport-Prinzipmodell wurde die Wirkung von Bühnenrückbau und Altarmenbindung zur Erosionsminderung untersucht (FAULHABER et al. 2010). Das Prinzipmodell bildet entsprechend der geometrischen, hydraulischen und sedimentologischen Charakteristik den Abschnitt zwischen

El-km 160 und 200 in einem 100 km langen Modell aus Doppeltrapezprofilen (100 m Profilabstand) nach. Die Maßnahmen wurden im Bereich zwischen Prinzipmodell-Station 45 und 55 ausgeführt. Das Modell wurde in diesem Bereich auf stärkere Erosion als in den Nachbarbereichen kalibriert (schwarze Linie in Abb. 10).

Abb. 10 zeigt die Differenzen der mittleren Sohlhöhen für den Zustand nach 40 Jahren wirkenden Maßnahmen gegenüber dem Ausgangszustand für drei Szenarien:

- > keine Maßnahmen (schwarze Linie)
- > Buhnenrückbau durch Abtrag des Buhnenrückens und Vergrößern der Normalbreite um 5 m (rote Linie)
- > Anschluss eines Altarmes ab 2 MQ (blaue Linie)

Beide Maßnahme-Szenarien führen zur Verminderung der Erosion im Maßnahmebereich gegenüber dem Szenario ohne Maßnahmen. Allerdings wirken sich die Maßnahmen auch in den ober- und unterhalb gelegenen Strecken aus. Dort ist begleitend zur Maßnahme ggf. eine Geschiebemanagement erforderlich, um der zeitweilig stärkeren Materialaufnahme entgegenzuwirken.

Bei der Altarmanbindung kann der Maßnahmebereich nicht frei gewählt werden. Die mögliche Anordnung des lokalen Zu- und Ausflusses wird durch die natürlichen Gegebenheiten des vorhandenen Altarmes bestimmt. Der Buhnenrückbau wirkt überall dort, wo zu hoch liegende Buhnen vorhanden sind, die umgebaut werden.

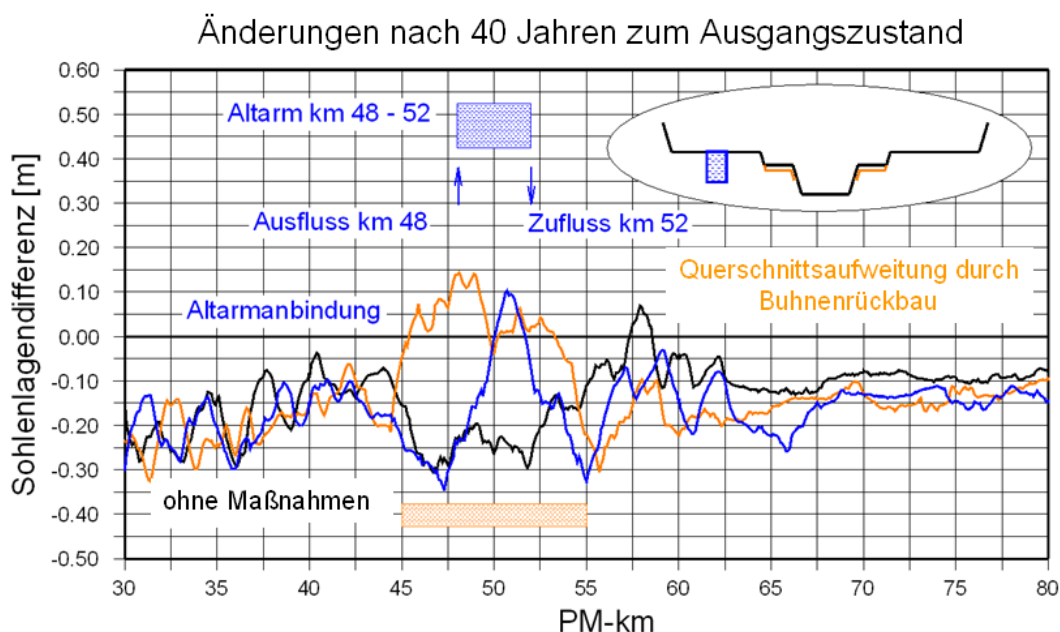


Abb. 10: Differenz der mittleren Sohle nach 40 Jahren Sohlentwicklung gegenüber dem Ausgangszustand entlang der Fließstrecke

Betrachtet man die Sohlentwicklung für den Bereich der Maßnahmen Station 48 bis 52 über die Zeit (Abb. 11), so wird deutlich, dass die Altarmanbindung nur bei ausufernden Abflüssen wirkt. Dadurch wird nur bei Hochwasser die Sohlentwicklung verändert, so dass sich Phasen der Sohlstützung mit denen der Eintiefung abwechseln. Demgegenüber kann mit dem Buhnenrückbau eine gleichmäßigere Sohlentwicklung erreicht werden.

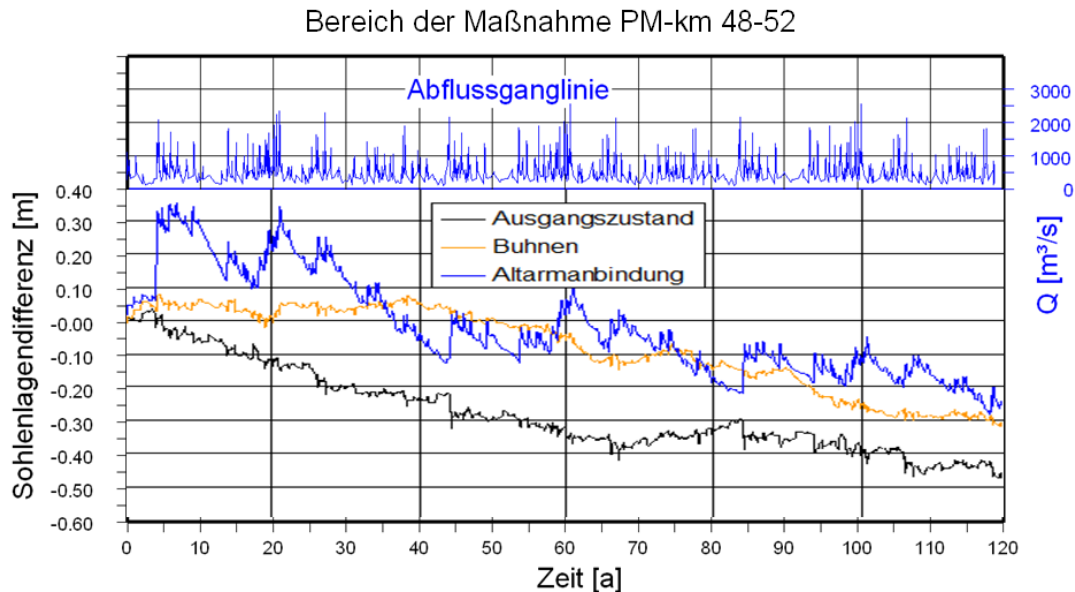


Abb. 11: Entwicklung der mittleren Sohle für Station 48-52 m gegenüber dem Ausgangszustand über die Zeit

6 Fazit

Die Wechselwirkungen zwischen Regelungssystem und Geschiebetransport gestalten sich entlang der Elbe entsprechend der Streckencharakteristika unterschiedlich. Im Oberlauf findet kaum Geschiebetransport statt. In der Mittel- und Unterelbe muss neben hydraulischen Bedingungen zusätzlich der Geschiebetransport berücksichtigt werden. Dadurch unterscheiden sich auch die Möglichkeiten der Beeinflussung und die Wirkungen von Maßnahmen. (Auf den Staubeereich oberhalb des Wehres Geesthacht wurde wegen anderer Charakteristika und Prozesse als in der ungehindert fließenden Strecke hier nicht eingegangen.)

Die theoretische Forderung nach einem über die Strecke und die Zeit gleichmäßigen Geschiebetransport ist in der Praxis nur in Annäherung umsetzbar. Dieser Forderung stehen an der deutschen Binnenelbe hauptsächlich entgegen:

- > Geschiebedefizit und Sohlerosion
- > unvollständiges, nicht ausreichend den aktuellen Bedingungen angepasstes Regelungssystem; stark wechselnde Randbedingungen für den Geschiebetransport
- > lokal unterschiedlich starke Beeinflussung des Geschiebetransports durch Hochwasser

Bei der Bewertung bisheriger und Abschätzung künftiger Wirkungen von Maßnahmen zur mittelbaren und unmittelbaren Beeinflussung des Geschiebetransports ist zu berücksichtigen:

- > Maßnahmen wirken über das Maßnahmengebiet hinaus.
- > Ein Fluss benötigt lange (Jahrzehnte), bis nach Eingriffen eine Anpassung an neue Bedingungen erfolgt.
- > Hochwasser können das Gewässerbett prägen und ungleichmäßige Entwicklungen der Sohle hervorrufen.

- > Nach Maßnahmen oder natürlichen Ereignissen (z. B. extreme Hochwasser) kann (und muss in einigen Abschnitten) die Adaption des Flusses durch Geschiebebewirtschaftung unterstützt werden.
- > Die Adaption des Flusses führt dazu, dass auch bei Beibehaltung der Regelungsziele die Bezugsgrößen des Regelungssystems angepasst werden müssen.
- > Konkrete Entwicklungsziele (Wasserbau, Ökologie, Nutzungen) sind als Basis der Bewertung der Wirkungen abzustimmen. Dazu sind (irreversible) Veränderungen in der Vergangenheit zu berücksichtigen.
- > Hinsichtlich der morphologischen Gesamtwirkungen von Maßnahmen sind exakte Prognosen kaum möglich. Die Wirkungen unter definierten Randbedingungen (Annahmen) lassen sich jedoch mit verschiedenen Modellen entsprechend der konkreten Fragestellung (langfristig, großräumig oder kleinräumig, kurzfristig) beschreiben.
- > Naturversuche mit Erfolgskontrollen helfen, Erfahrungen zu sammeln.

Literatur

- ALEX, M. (2004): Feststofftransportmodell zur Simulation von Geschiebeabgabeszenarien zur großräumigen und langfristigen Stabilisierung der Elbesohle in der Erosionsstrecke. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 27, S. 459-471, Dresden.
- BAW (1996): Mehrere Autoren (u. a. H. Faist und G. Glazik) in Vorträgen im Kolloquium „Flussbauliche Untersuchungen zur Stabilisierung der Erosionsstrecke der Elbe“, Mitteilungsblatt Nr. 74, Bundesanstalt für Wasserbau.
- FAULHABER, P. (2000): Veränderung hydraulisch-morphologischer Parameter der Elbe. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 82, Karlsruhe.
- FAULHABER, P., R. PATZWahl, M. ALEX (2010): Wege zur Umsetzung des Sohlstabilisierungskonzeptes der Elbe am Beispiel der Pilotstrecke Klöden. Wasserbauliche Mitteilungen Heft 40, S. 115-124, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden.
- FAULHABER, P. (2012): Vergleich der hydraulischen Verhältnisse im Mittelwasserbett der deutschen Binnenelbe vom 19. Jahrhundert bis heute. Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft (DWhG) e. V., Band 20, Teil 2, DWhG – Zehn Jahre wasserhistorische Forschungen und Berichte, S. 487-500.
- FAULHABER, P. (2013): Niedrigwasserereignisse an der Elbe und ihre Bedeutung für den Ausbau des Flusses. In: Veranstaltungen 1/2013, Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 60-68
- GABRIEL, T. (2010): Das Sohlstabilisierungskonzept für die Elbe von Mühlberg bis zur Saalemündung. Wasserbauliche Mitteilungen Heft 40, S. 105-114, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden.
- GLAZIK, G. (1963): Studie über die Möglichkeiten zur Erhöhung der Tauchtiefe der Elbe durch Niedrigwasserregulierung, unveröffentlichter Bericht der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Berlin.
- HENTSCHEL, B. (2007): Hydraulische Flussmodelle mit beweglicher Sohle. Mitteilungsblatt Nr. 90, Bundesanstalt für Wasserbau, S. 25-46.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe.
- PG Erosionsstrecke (2011): Erosionsstrecke der Elbe. Bewertung der Geschiebeabgaben und ergänzende Untersuchungen 2004 bis 2009, unveröffentlichter Bericht der Projektgruppe der WSD Ost, WSA Dresden; BAW, BfG.
- SAUER, W., A. SCHMIDT (2001): Die Bedeutung des suspensierten Sandes für die Sohlhöhenentwicklung der Elbe. In Wasserwirtschaft 91(2001) 9.
- VOLLMER, S., I. QUICK, F. KÖNIG (2013): Hydromorphologische Entwicklung der Binnenelbe. In: Veranstaltungen 3/2013 „Geomorphologische Prozesse unserer Flussgebiete“, Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 75-87.



Kontakt:

Petra Faulhaber

Bundesanstalt für Wasserbau

76187 Karlsruhe

Kußmaulstr. 17

Tel.: 0721/ 9726 2630

Fax: 0721/ 9726 5340

E-Mail: petra.faulhaber@baw.de

1975-1979

Studium Wasserbau an der TU Dresden

1980-1990

Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Forschungsanstalt für Schifffahrt Wasser- und Grundbau Berlin

seit 1990

Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Bundesanstalt für Wasserbau

Projektbearbeitung:

verschiedene Projekte an der Elbe, u. a.

- Umsetzung des Sohlstabilisierungskonzeptes
- Deichrückverlegung Lenzen

unter Einsatz verschiedener Modellmethoden

- Laborrinnen
- Maßstabsmodelle
- numerische Modelle

Partikuläre Schadstoffströme im Flussgebiet – Fallbeispiel Elbe

Peter Heininger

1 Einleitung

Schwermetallverbindungen oder persistente organische Verbindungen sind potenzielle Schadstoffe, die die Integrität der Umwelt und Gewässernutzungen gefährden. Aufgrund ihrer chemischen Natur werden lipophile und gering wasserlösliche Stoffe in den Gewässern bevorzugt von Sedimenten und Schwebstoffen aufgenommen. Böden und Sedimente sind die Träger partikulärer Stoffströme in Flussgebieten. Globale Abschätzungen besagen, dass mehr als 90 % der gesamten, bisher an die Umwelt abgegebenen Polychlorierten Biphenyle (PCB) in Böden und Sedimenten wieder zu finden sind (TRAVIS & HESTER 1991). Während sich die Wasserqualität in den Flüssen vielfach erheblich verbessert hat, stellen kontaminierte Sedimente in Ruhezonen der Flüsse, hinter Dämmen, in Ästuaren und Flussauen ein integrierendes Stoffdepot für Schadstoffemissionen dar. Von dort können sie ihren Weg in die Biosphäre und das Nahrungsnetz bis hin zum Menschen finden. Die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) und die Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe haben beschlossen, bis 2013 Sedimentmanagementkonzepte für die internationale Flussgebietseinheit Elbe (IKSE-Tagung 2009) bzw. für deren deutschen Teil (13. Elbe-Rat 2009) auszuarbeiten.

2 Sedimentmanagement im Flussgebiet – Qualitätsaspekt

Eingriffe in die Sedimentqualität und deren Folgen sind sowohl im Hinblick auf die Funktion als auch auf die Nutzung des Gewässers häufig räumlich (Ober- vs. Unterlieger) und/oder zeitlich (z. B. Altlasten vs. aktuelle Qualitätsanforderungen und Nutzungen) entkoppelt. Hinzu kommt, dass durch eine unzureichende Sedimentqualität ganz unterschiedliche Regelbereiche betroffen sind. Die Problemeigner verfügen häufig nicht über die (alleinige) Regelungskompetenz im Hinblick auf die Problemverursacher. Ein typisches Beispiel für diesen Zusammenhang ist der Austrag kontaminierter Sedimente in die Aue mit Folgen für deren landwirtschaftliche Nutzbarkeit. Abbildung 1 zeigt den Konzentrationsverlauf der Polychlorierten Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) im Elbelängsschnitt im Jahr 2008 (FGG Elbe 2011). Deutlich erkennbar sind die Teileinzugsgebiete der Mulde (Balken Spittelwasser, Mulde/Dessau) und Saale (Balken Bode, Saale) als Hauptherkunftsbereiche für diese Art der Sedimentkontamination. PCDD/F gehören wegen ihrer Persistenz und Toxizität zu den Stoffen, die zum Schutz der menschlichen Gesundheit Grenzwerte in Futtermitteln nicht überschreiten

dürfen (EG 2002). Der Austrag durch PCDD/F kontaminierter Sedimente in die weidewirtschaftlich genutzte Aue der unteren Mittel-Elbe hat zur Konsequenz, dass in den dort produzierten Futtermitteln die festgelegten Grenzwerte überschritten werden können (GUDE et al. 2008). Um negative Folgen für die Verbraucher auszuschließen, treten Nutzungseinschränkungen in Kraft. Es sind Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen erforderlich (LK Niedersachsen 2010), die zusätzliche Kosten zur Folge haben.

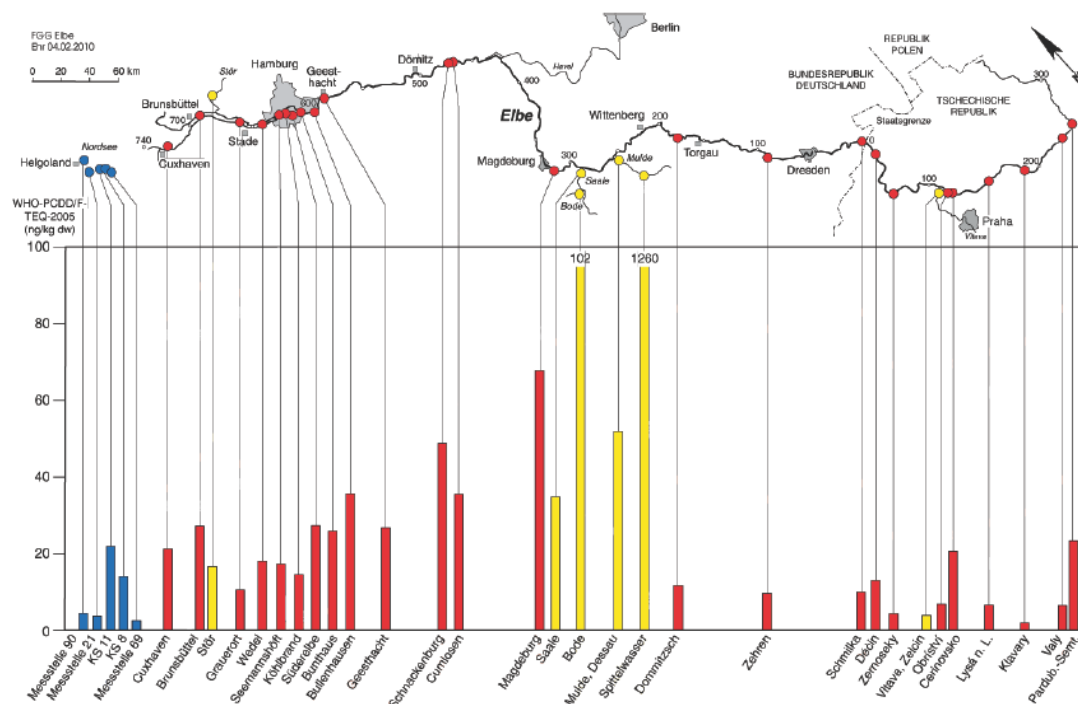


Abb. 1: PCDD/F in Schwebstoffen der Elbe (Quelle: FGG Elbe 2011)

3 Quellenbezogene Risikoanalyse

Integrales Sedimentmanagement im Flussgebiet folgt u. a. dem Prinzip der Kontrolle der Belastungsquellen und der Bekämpfung der Ursachen als beste Lösung. Ein gemeinsames Systemverständnis zwischen allen Akteuren im Hinblick auf die Quellen und Transportwege kontaminierter Sedimente ist entscheidend für die Akzeptanz der Ergebnisse der Risikoanalyse als Ausgangspunkt einer Maßnahmenplanung (OWENS 2005; SedNet 2006). Die Risikoanalyse ist in zwei Schritten vorzunehmen. Schritt 1 bildet die Priorisierung der Herkunftsbe- reiche auf der Ebene des Flussgebietes und Schritt 2 besteht in der quellenbezogenen Risikoanalyse und dem Risikoranking (HEISE & FÖRSTNER 2007; APITZ & WHITE 2003). Das prin- zipielle Vorgehen wird am Beispiel von Zink durch die Abb. 2 und 3 illustriert. In Abb. 2 sind für das Jahr 2005 die Gesamtfrachten an Zink an den Bezugsmessstellen aufgetragen, die im Kontext des Sedimentmanagementkonzepts Elbe betrachtet werden (FGG Elbe 2013). Schwarz markiert sind die Frachten aus Nebenflüssen, von denen die Triebisch (64 t/a), die Mulde (176 t/a) und die Saale (227 t/a) hohe Beiträge zur Fracht in der Elbe leisten.

Abbildung 3 zeigt, dass unter den zur Auswahl stehenden Nebenflüssen der Saale die Schlenze (61 t/a) und die Weiße Elster (37 t/a) eine herausragende Bedeutung haben. Maßgeblich für die Situation in der Schlenze mit einem MQ von lediglich $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$ (2003-2008) sind die Einleitungen aus dem Schlüsselstollen, über den die hydraulische Entlastung des stillgelegten Mansfelder Bergbaureviers erfolgt. Das gelöste eingetragene Zink verteilt sich entsprechend den gewässerchemischen Bedingungen der Schlenze zwischen gelöster und partikulärer Phase und führt zu Sedimentgehalten von ca. $2,5 \text{ g/kg}$ (LAF 2012).

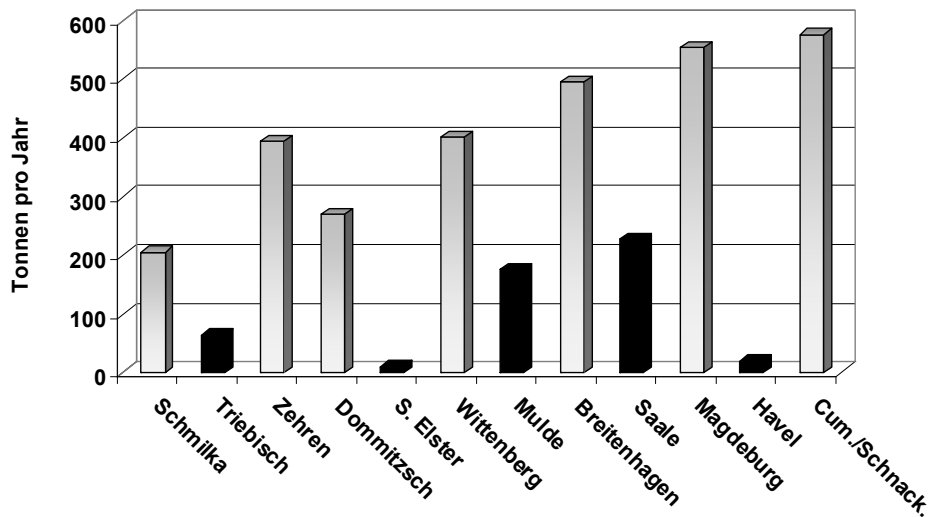


Abb. 2: Zink-Jahresfracht 2005 im Längsverlauf der Elbe (Daten: FGG Elbe 2013).
Schwarze Balken: Frachten aus Nebenflüssen

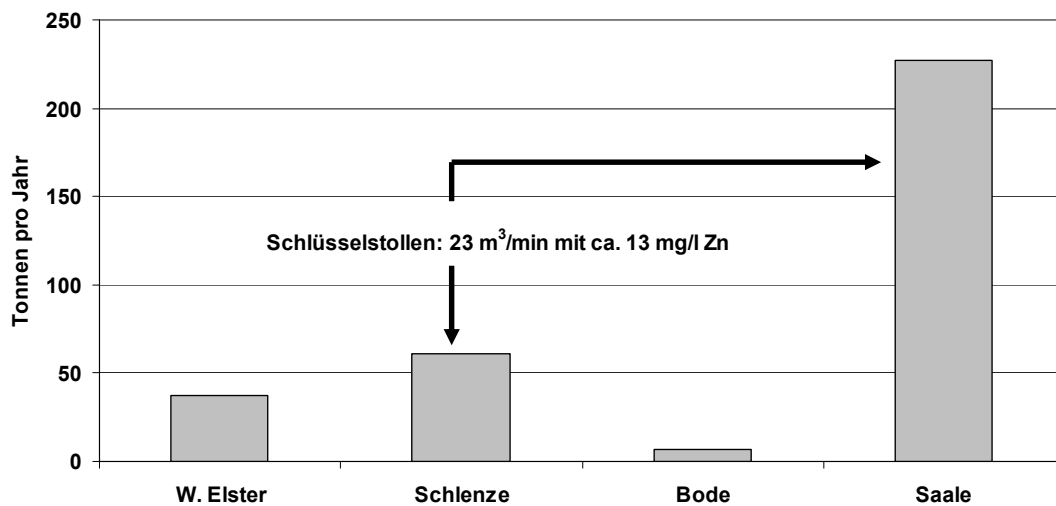


Abb. 3: Zink-Jahresfracht 2005 der Saale und von Saale-Nebenflüssen (FGG Elbe 2013; LAF 2012)

Schadstoffe in unseren Flüssen stammen aus punktförmigen und diffusen Quellen. Im Zuge der Erarbeitung des Sedimentmanagementkonzepts der FGG Elbe und der IKSE wird für einen relevanten Schadstoff folgende Bilanz betrachtet (FGG Elbe 2013):

$$\Delta F = F_{i,T} - F_{i-1,T} + F_R = F_G + F_P + F_D \quad (1)$$

Es sind $F_{i,T}$ bzw. $F_{i-1,T}$ die Frachten eines Schadstoffs an zwei einen Elbeabschnitt begrenzenden Bezugsmessstellen ($i-1$; i) zum Zeitpunkt T , F_R die Retention in diesem Abschnitt, F_G der abschnittsbezogene geogene Frachtanteil und F_P und F_D der punktförmige bzw. diffuse Frachtanteil jeweils zwischen den betrachteten Bezugsmessstellen. In das überregionale Risikoranking der Quellen im Flussgebiet Elbe geht als quantitatives, stoffbezogenes Kriterium das ΔF zwischen Schnackenburg/Cumlosen und Schmilka ein (vgl. auch Abb. 2).

Abschätzungen über Frachten aus Punktquellen werden in erster Linie anhand der Daten des *European Pollutant Release and Transfer Register* (EG 2006) vorgenommen. Für verschiedene Schwermetalle (z. B. Cd, Cu, Zn) leisten Emissionen des Altbergbaus einen entscheidenden Beitrag, der die Summe der sonstigen punktförmigen Einträge bei Weitem übersteigen kann (Beispiel Schlüsselstollen oben und Abb. 3). Maßgebliche Quellen für partikuläre Stoffströme können je nach Teileinzugsgebiet auch Altsedimente und Altlasten am Gewässer (Altstandorte/Deponien) bilden. Die Risikoanalyse dieser je nach konkreter Ausprägung punktförmigen (z. B. Emission eines Altstandortes) oder diffusen (z. B. Gesamtheit der Altsedimente eines morphologisch einheitlichen Gewässerabschnittes) Quellen wird anhand ihres Frachtpotenzials und der Remobilisierbarkeit vorgenommen. Das Frachtpotenzial stellt die Gesamtmenge (in kg oder t) eines Schadstoffes bezogen auf die jeweilige Quelle dar. Die Remobilisierbarkeit wird im Falle der Altstandorte/Deponien anhand der Lage zum Gewässer und des Sicherungsstatus für die Pfade Elution und Erosion abgeschätzt (wichtige Quelle: Altlasteninformationssysteme und Bodeninformationssysteme der Länder und die Archive der Landesbergämter). Die Erosions- bzw. Mobilisierungswahrscheinlichkeit von Altsedimenten ist eine Funktion des Erosionswiderstands und der hydraulischen Verhältnisse am zu bewertenden Standort. Maßgeblich sind der Wert der kritischen Sohlschubspannung für Erosion τ_{krit} und die Überschreitungswahrscheinlichkeit dieses kritischen Wertes durch den tatsächlichen Strömungsangriff τ . Da eine durch Messungen abgesicherte Charakterisierung des Mobilisierungsrisikos aller Altsedimente aus praktischen und wirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar ist, wird eine Experteneinschätzung vorgenommen. In diese Einschätzung fließen die Erkenntnisse aus der Untersuchung exemplarischer Gewässersituationen ebenso ein, wie die ereignisbezogene Auswertung verfügbarer Monitoringdaten (siehe auch Abschnitt 4). Die Relevanz weiterer Quellen (Geologie, Landwirtschaft, urbaner Abfluss, Grundwasser) wird anhand von Literaturdaten über Stoffeinträge abgeschätzt (FUCHS et al. 2010).

4 Rolle von Hochwasser

Auf Hochwasserphasen von weniger als 10 % der Zeit können mehr als 90 % der jährlichen Feststofffracht eines Flusses entfallen (OWENS 2005). Am Beispiel einer Studie von HANISCH et al. (2005) an der Weißen Elster werden Zusammenhänge verdeutlicht. Abbildung 4 zeigt die geographische Situation. Die Weiße Elster mündet am Südrand von Halle in die Saale. Die Altsedimente des Einzugsgebietes sind aufgrund seiner industriellen Vorgeschichte erheblich mit Schwermetallen belastet. Cadmium-Gehalte beispielsweise überschreiten im

Maximum den geogenen Hintergrund um mehr als das 70-Fache. Verfolgt wurden 2002 drei Hochwasserereignisse unterschiedlicher Intensität. Informationen zu deren Dauer und Intensität sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Anhand ereignisbezogener Messungen an repräsentativen Messstellen jeweils über den gesamten Hochwasserzeitraum ließen sich Abschätzungen der aus Altsedimenten remobilisierten Cd-Menge (M_{Cd}) sowie deren Aufteilung zwischen dem Eintrag in die Saale ($F_{Cd,HW}$) und der Retention auf Überflutungsflächen ($R_{Cd,HW}$) vornehmen. Je nach Intensität (Q_{max} in Relation zu $MQ = 60 \text{ m}^3/\text{s}$) und Dauer des Hochwassers werden zwischen 30 % und 150 % der Jahresfracht der Weißen Elster an der Saalemündung des mittleren Abflussjahres 2005 ($F_{Cd,2005} = 123 \text{ kg}$; Daten: LHW Sachsen-Anhalt) mobilisiert, das Verhältnis von $M_{Cd} : F_{Cd,2005}$ beträgt zwischen 0,3 und 1,5. Während bei geringer Intensität und kurzer Dauer des Ereignisses ca. 50 % des mobilisierten Cd in die Saale verfrachtet werden, verringert sich dieser Anteil beim stärksten Hochwasser auf ca. ein Fünftel.

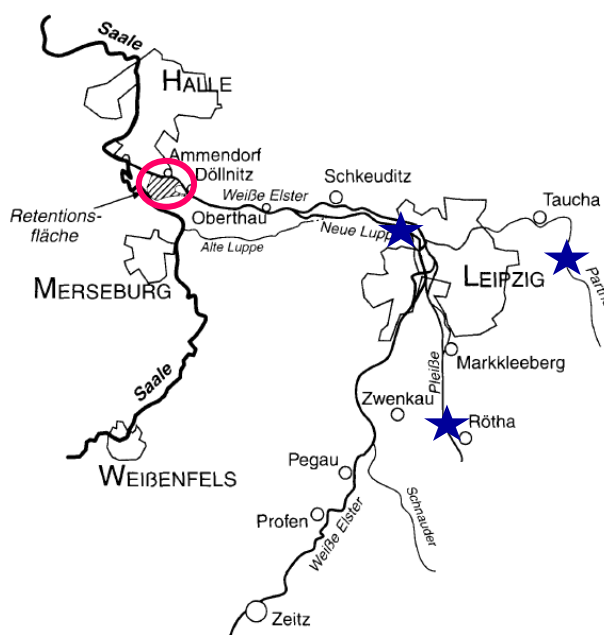


Abb. 4: Unterlauf der Weißen Elster mit Messpunkten (Quelle: HANISCH et al. 2005)

Tabelle 1

Remobilisierung von Cadmium aus Altsedimenten der Weißen Elster

Hochwasser (Dauer)	$Q_{max} : MQ$	$M_{Cd} : F_{Cd,2005}$	$F_{Cd,HW} : R_{Cd,HW}$
Jan (8 Tage)	1,7	0,3	1 : 1
Aug (18 Tage)	2,7	0,5	1 : 2
Nov (18 Tage)	4,2	1,5	1 : 3,6

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die genaue Kenntnis partikulärer Stoffströme und ein gemeinsames Systemverständnis zwischen allen Akteuren im Hinblick auf die Quellen und Transportwege kontaminierter Sedimente ist entscheidend für die Akzeptanz der Ergebnisse der Risikoanalyse als Ausgangspunkt einer Maßnahmenplanung im Flussgebiet.

Literatur

- APITZ, S. AND S. WHITE (2003): A conceptual framework for river-basin-scale sediment management. *J Soils Sediments* 3(3), 132-138.
- EG (2002): Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30.05.2002 (ABl. L 140, S. 10).
- EG (2006): Verordnung (EG) 166/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Januar 2006 über die Schaffung eines Europäischen Registers zur Erfassung der Freisetzung und Übertragung von Schadstoffen und zur Änderung der Richtlinie 91/689/EWG und Richtlinie 96/61/EG des Rates.
- FGG Elbe (2011): Dioxine und PCBs in Feststoffen aus der Elbe, ihren Nebenflüssen und der Nordsee (Längsprofilaufnahme 2008). Bericht von B. Stachel, G. Mariani, G. Umlauf und R. Götz für die FGG Elbe und die IKSE. 67 Seiten, Anlagen. <http://www.fgg-elbe.de/dokumente/fachberichte.html> (letzter Zugriff 12.03.2013).
- FGG Elbe (2013): Materialien der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Schadstoffe/Sedimentmanagement der FGG Elbe (Leitung: P. Heininger). Abschlussbericht „Sedimentmanagementkonzept der FGG Elbe. Vorschläge für eine gute Sedimentmanagementpraxis im Elbegebiet zur Erreichung überregionaler Handlungsziele“, in Vorbereitung.
- FUCHS, S., U. SCHERER, R. WANDER, H. BEHRENDT, M. VENOHR, D. OPITZ, T. HILLENBRAND, F. MARSCHIEDER-WEIDEMANN UND T. GÖTZ (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe. Dessau-Roßlau, UBA Texte 45/2010, 207 S.
- GUDE, K., V. TAUBE, E. BRUNS-WELLER, K. SEVERIN, A. J. SCHULZ UND J. KAMPHUES (2008): Dioxine und dl-PCB als Futtermittelkontaminanten und ihre Bedeutung für die Lebensmittelsicherheit. Übers. Tierernährung 36, 93-144.
- HANISCH, C., L. ZERLING, F. W. JUNGE UND W. CZEGKA (2005): Verlagerung, Verdünnung und Austrag von schwermetallbelasteten Flusssedimenten im Einzugsgebiet der Saa-le. Abh. Sächs. Akad. Wiss. 64(1). Leipzig, 119 Seiten, Anlagen.
- HEISE, S. AND U. FÖRSTNER (2007): Risk assessment of contaminated sediments in river basins – theoretical considerations and pragmatic approach. *J. Environ. Monit.* 9, 943-952.
- LAF - Landesanstalt für Altlastenfreistellung (2012): Frachtreduzierung Schlüsselstollen. Ergebnisse der Projektstudie. Präsentation zum 7. Fachgespräch über kohäsive, schadstoffbelastete Sedimente in der Binnenelbe. Hamburg, 06.11.2012.
- LK Niedersachsen (2010): Grünlandbewirtschaftung von Überschwemmungsflächen im Bereich der Elbtalniederung der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein. Merkblatt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Oldenburg, Stand Februar 2010. 8 Seiten.
- OWENS, P. N. (2005): Conceptual models and budgets for sediment management at the river basin scale. *J. Soils and Sediments* 5 (201-212).
- SedNet (2006): Sediment Management – an essential element of river basin management plans. Report of the SedNet Round Table Discussion. Venice, 22-23 November.
- TRAVIS, C. C. and S. T. HESTER (1991): Global chemical pollution. *Environ. Sci. Technol.* 25(5), 815-818.



Kontakt:

Dr. Peter Heininger

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5307

Fax: 0261/ 1306 5363

E-Mail: heininger@bafg.de

Jahrgang: 1952

1970-1974 und 1980-1984

Studium der Chemie in Charkow und Berlin;

Promotion 1984

1985-1990

Institut für Wasserwirtschaft Berlin

seit 1990

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG);

seit 2001 Abteilungsleiter „Qualitative Gewässerkunde“; seit 2011 Forschungsbeauftragter

Hauptarbeitsgebiete

Umweltverhalten schadstoffbelasteter Sedimente

Sediment- und Baggergutmanagement

Risikobewertung von Wasserbaumaterialien

Mitglied der SedNet-Steuerungsgruppe seit 2006

Leiter nationaler und internationaler Expertengruppen

In der Reihe BfG-Veranstaltungen sind bisher u. a. erschienen:

- | | |
|--------|---|
| 1/2007 | Höhenmessungen mit GPS – Status quo und Entwicklungstendenzen |
| 2/2007 | Röhricht an Bundeswasserstraßen (im norddeutschen Raum) |
| | |
| 1/2008 | Neue Wege der Schadstoffbekämpfung |
| 2/2008 | Ultraschall in der Hydrometrie: neue Technik – neuer Nutzen? |
| 3/2008 | Effektive und qualitätsgesicherte Abwicklung von Sediment-/Baggergutuntersuchungen in der WSV |
| 4/2008 | Saisonale Vorhersagesysteme in Meteorologie und Hydrologie |
| 5/2008 | Umweltaspekte des Einsatzes von industriell hergestellten Wasserbausteinen in Bundeswasserstraßen |
| 6/2008 | Wasserbewirtschaftung und Niedrigwasser |
| | |
| 1/2009 | Wasserstandsinformationsdienste der BfG für die Bundeswasserstraßen |
| 2/2009 | Sediment Contact Tests. Reference conditions, control sediments, toxicity thresholds |
| 3/2009 | Sedimentologische Prozesse – Analyse, Beschreibung, Modellierung |
| 4/2009 | Ingenieurvermessung im Bauwesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung |
| 5/2009 | Verfahren der ökotoxikologischen (Risiko-) Bewertung in der Umweltsicherung |
| 6/2009 | Softwarelösungen für ein integriertes Hochwassermanagement |
| 7/2009 | Aspekte des Schadstoffmonitorings an Schwebstoffen und Sedimenten in der aquatischen Umwelt |
| | |
| 1/2010 | Flusssysteme in Raum und Zeit |
| 2/2010 | Berücksichtigung verkehrs- und bautechnischer Emissionen und Immissionen in Umweltverträglichkeitsprüfungen |
| 3/2010 | Pathogene Vibrionen in der marinen Umwelt |
| 4/2010 | Riskobewertung stofflicher Belastungen |
| 5/2010 | Screeningverfahren zur Erfassung endokriner Wirkungen in der aquatischen Umwelt |
| | |
| 1/2011 | Erfassung und Bewertung des hydromorphologischen Zustands in Wasserstraßen |
| 2/2011 | Umweltauswirkungen von Wasserinjektionsbaggerungen |
| 3/2011 | Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV |
| 4/2011 | EurAqua Symposium Impact of climate change on water resources – 200 years hydrology in Europe – a European perspective in a changing world |
| 5/2011 | Schadstoffdynamik in Flussgebieten – Ursachen, Wirkungen und Konsequenzen stofflicher Veränderungen in Raum und Zeit |
| | |
| 1/2012 | Partikuläre Stoffströme in Flusseinzugsgebieten |
| 2/2012 | Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle |
| 3/2012 | Dynamik des Sedimenthaushaltes von Wasserstraßen |
| 4/2012 | Pathogenic <i>Vibrio</i> spp. in Northern European Waters |
| 5/2012 | Baumaterialien und Oberflächengewässer |
| 6/2012 | Hydro-ökologische Modellierungen und ihre Anwendungen |
| 7/2012 | Monitoring, Funktionskontrollen und Qualitätssicherung an Fischaufstiegsanlagen. 2. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen |
| | |
| 1/2013 | Wissen was war ... – Rückblick auf hydrologische Extreme |
| 2/2013 | Die Bundeswasserstraßen im Blickfeld ökologischer Zielsetzungen gemäß WRRL – Erreichtes und Erreichbares |